



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

CHLAZENÍ VE VZDUCHOTECHNICE

COOLING IN AIR CONDITIONING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tereza Vacková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Tereza Vacková
Název	Chlazení ve vzduchotechnice
Vedoucí práce	doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální právní předpisy ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení

Analýza zadaného tématu, normové a právní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Teoretická rešerše a řešení s využitím podstaty předmětných fyzikálních jevů

B. Aplikace tématu na zadané budově

Návrh technického řešení pro chlazení vybraného prostoru podle experimentálně zjištěných skutečností ve 2 variantách v zadané specializaci v rozsahu studie projektu s grafickými výstupy výkresů (půdorysy v měřítku min. 1:100) a popis navržených systémů chlazení včetně jejich technického popisu. K jednotlivým variantám budou vytvořeny schémata zařízení.

C. Experimentální řešení a zpracování výsledků

Experiment realizovaný v laboratoři TZB postihující zadanou problematiku. Experimentálně bude zjišťován obtokový součinitel instalovaného přímého chlazení. Součástí výsledků experimentu bude grafické vyjádření závislosti chladicího výkonu zařízení na obtokovém součiniteli a popis metody včetně přístrojové techniky.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou přímého chlazení. Teoretická část popisuje termodynamické zákony, základní termodynamické děje v ideálním plynu a jednotlivé chladicí cykly. V experimentální části byla řešena závislost obtokového součinitele chladiče VZT jednotky na jejím výkonu. Třetí část této práce obsahuje aplikaci daného experimentu pro konkrétní prostor a porovnání s variantou z bakalářské práce.

Klíčová slova

přímé chlazení, obtokový součinitel chladiče, výkon, chladicí cykly, povrchová teplota chladiče, chladivo

Abstract

This diploma thesis deals with the issue of refrigerant cooling. The theoretical part describes laws of thermodynamics, basic thermodynamic processes of ideal gas and cooling cycles. The dependence of the cooler bypass factor of air handling unit on its capacity is the main issue of the experimental part. The aim of practical part is to design the air-conditioning device using knowledge of experimental part and compare it with the proposal of air-conditioning device in my bachelor thesis.

Keywords

refrigerant cooling, cooler bypass factor, capacity, cooling cycles, cooler surface temperature, refrigerant

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Tereza Vacková *Chlazení ve vzduchotechnice*. Brno, 2018. 105 s., 77 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Rubina, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2018

.....

Bc. Tereza Vacková
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 12. 1. 2018

.....
Bc. Tereza Vacková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ:

Děkuji svému vedoucímu doc. Ing. Aleši Rubinovi, Ph.D. za konzultace a odborné vedení při zpracování této diplomové práce.

V Brně dne 12. 1. 2018

Bc. Tereza Vacková

OBSAH

ÚVOD.....	11
A ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ.....	13
1 TÉMA A CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	13
2 ZÁKLADY CHLADÍČÍ TECHNIKY.....	14
2.1 ZÁKLADNÍ ZÁKONY TERMODYNAMIKY.....	14
2.2 TERMODYNAMICKÉ DĚJE V IDEÁLNÍM PLYNU	15
2.3 STROJNÍ CHLAZENÍ.....	19
2.4 CHLADÍČÍ OKRUH.....	19
2.5 PRVKY CHLADÍČÍHO OKRUHU	20
2.6 KOMPRESOROVÝ CHLADÍČÍ OKRUH	20
2.7 KONSTRUKČNÍ ČÁSTI KOMPRESOROVÝCH CHLADÍČÍCH OKRUHŮ	22
2.7.1 KOMPRESORY.....	22
2.7.2 VÝMĚNÍKY TEPLA	23
2.7.2.1 VÝPARNÍKY	23
2.7.2.2 KONDENZÁTORY	24
2.7.3 PRVKY PRO ŠKRCENÍ A REGULACI PRŮTOKU CHLADIVA DO VÝPARNÍKU	25
2.8 CHLADÍČÍ CYKLY.....	25
2.8.1 OBRÁCENÝ CARNOTŮV CYKLUS	26
2.8.2 CLAUSIUS – RANKINŮV CYKLUS	28
2.8.3 SKUTEČNÝ PARNÍ KOMPRESOROVÝ CYKLUS	30
B APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ.....	33
1 NÁVRHOVÉ PARAMETRY.....	33
2 VARIANTA 1 – VZDUCHOTECHNICKÁ JEDNOTKA S PŘÍMÝM VÝPARNÍKEM	34
3 VARIANTA 2 – VZT JEDNOTKA + MULTISPLIT SYSTÉM.....	45
4 VYHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT	57
5 TECHNICKÁ ZPRÁVA.....	58
6 TECHNICKÁ SPECIFIKACE.....	69
7 REGULAČNÍ SCHÉMA	70
C EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	73
1 CÍLE EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ.....	73
2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ.....	73
2.1 POSTUP EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ	73
2.1.1 DEFINICE DANÉ PROBLEMATIKY A URČENÍ MĚŘENÝCH FYZIKÁLNÍCH VELIČIN	73

2.1.2	PŘEDMĚT EXPERIMENTU	73
2.1.3	NÁVRH PROVEDENÍ MĚŘENÍ A MĚŘÍCÍ TECHNIKY	76
2.2	POUŽITÁ MĚŘÍCÍ TECHNIKA	77
2.2.1	MĚŘÍCÍ ÚSTŘEDNA ALMEMO 3290-8	77
2.2.2	TERMOČLÁNKOVÉ DRÁTY	77
2.2.3	VRTULKOVÝ ANEMOMETR	78
2.2.4	TERMOANEMOMETRICKÉ ČIDLO	78
2.2.5	DATALOGGER COMET S3120	79
2.3	ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT	80
2.3.1	MĚŘENÍ RYCHLOSTI	80
2.3.2	MĚŘENÍ 21. 7. 2016	81
2.3.3	OSTATNÍ MĚŘENÍ	89
2.4	VYHODNOCENÍ A POSOUZENÍ VÝSLEDKŮ	97
ZÁVĚR.....		99
POUŽITÉ ZDROJE.....		100
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....		102
SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A GRAFŮ		103
SEZNAM PŘÍLOH.....		105

ÚVOD

Cílem této diplomové práce je ověření závislosti obtokového součinitele chladiče na výkonu VZT jednotky. Závislost byla určována na základě experimentu, který byl prováděn na VZT jednotce v laboratoři TZB. Následně byl systém přímého chlazení aplikován na konkrétním prostoru a porovnán s jiným návrhem.

Část „A“ se zaměřuje na základy chladicí techniky. Popisuje základní termodynamické zákony, termodynamické děje v ideálním plynu a jednotlivé chladicí cykly.

Část „B“ je aplikací tématu na zadanou budovu. Zde jsou řešeny dvě varianty vzducho-technických systémů pro prostory squashových kurtů. Varianta 1 je převzata z mé bakalářské práce, variantu 2 jsem navrhovala v rámci diplomové práce. V závěru této části je porovnání těchto variant.

Část „C“ se zabývá experimentem, který jsem prováděla na VZT jednotce v laboratoři TZB. Cílem této části bylo stanovit závislost obtokového součinitele VZT jednotky na jejím výkonu. V průběhu celého roku jsem prováděla měření a následně jejich zpracováním zjistila hodnoty sledovaných veličin. Tato část obsahuje naměřená a zpracovaná data včetně grafického vyjádření. V závěru je vyhodnocení celého experimentu.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ČÁST A - TEORETICKÁ ČÁST

CHLAZENÍ VE VZDUCHOTECHNICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tereza Vacková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2018

A ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ

1 TÉMA A CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Tématem mé diplomové práce je chlazení ve vzduchotechnice, konkrétně jsem se zabývala přímým chlazením. Podstatou tedy bylo pochopení principu přímého chlazení a následně jeho využití při návrhu klimatizace pro vybraný prostor.

Obsah diplomové práce je rozdělen do tří částí, které jsou vzájemně propojeny hlavní problematikou této práce – přímým chlazením.

Teoretická část

Teoretická část práce se zabývá základy chladicí techniky. Popisuje základní zákony termodynamiky a termodynamické děje v ideálním plynu. Řeší funkci chladicího okruhu a jeho jednotlivé komponenty. Dále jsem pak popisovala, jak fungují jednotlivé chladicí cykly a znázornila jejich průběh v p-h diagramech.

Aplikace tématu na zadané budově

Cílem této části bylo využít získané znalosti z teoretické a především z experimentální části pro aplikaci na zadané budově. Navrhla jsem dvě varianty vzduchotechnických systémů pro prostory squashových kurtů. Varianta 1 je navržena jako centrální systém klimatizace, kde je daný prostor obsluhován VZT jednotkou, která pokrývá veškeré tepelné zisky a ztráty. Pro chlazení vzduchu jednotka obsahuje přímý výparník, pro který byly navrženy jako zdroj chladu dvě venkovní kondenzační jednotky. Ve variantě 2 je VZT jednotka navržena pouze na hygienické množství venkovního vzduchu a pokrývá pouze tepelné ztráty a zisky větráním. Pro zbývající tepelné zisky a ztráty je navržen decentrální systém přímého chlazení – Multisplit. V závěru této části je vyhodnocení obou variant.

Experimentální část

V experimentální části byla zjišťována závislost obtokového součinitele VZT jednotky na jejím výkonu. Předmětem experimentu byla jednotka přímého chlazení v laboratoři TZB. Jednotlivá měření probíhala vždy asi 40 minut v letním i v přechodném období. Pro provedení experimentu bylo nutné pochopit princip chladicího cyklu, definovat si fyzikální vztahy potřebné pro výpočet zjišťovaných veličin. Všechna měření jsem následně zpracovala, výsledky znázornila pomocí grafů a vyhodnotila.

2 ZÁKLADY CHLADÍČÍ TECHNIKY

Chlazení je fyzikální děj, při kterém je teplo odebíráno předmětům či látkám z důvodu snížení jejich teploty oproti teplotě okolního prostředí. Ochlazovaná látka tedy snižuje svou teplotu nebo dokonce mění své skupenství. Teplota chladicí látky musí být vždy nižší než teplota látky ochlazované. Při těchto dějích dochází k přenosu tepla citelného, případně vázaného (latentního), kdy dochází ke kondenzaci vodní páry. [1]

2.1 Základní zákony termodynamiky

Zákon o zachování energie – první zákon termodynamiky

První termodynamický zákon říká, že celková energie uzavřené izolované soustavy se nemění, je konstantní. To znamená, že energie samovolně nevzniká ani nezaniká, pouze se mění na jiné formy energie.

$$dQ = dU + dA$$

kde	dQ – teplo přivedené do soustavy	[J]
	dU – přírůstek vnitřní energie soustavy	[J]
	dA – práce, kterou soustava vykonala	[J]

Zákon o vzrůstu entropie - druhý termodynamický zákon

Druhý termodynamický zákon definuje směr přenosu tepelné energie. Tepelná energie se předává z tělesa o vyšší teplotě na těleso o nižší teplotě. Přenos energie z chladnějšího tělesa na teplejší lze jen pomocí energie dodávané z vnějšího prostředí. Další definice tohoto zákona je, že se mechanická práce přeměňuje na teplo a část energie, kterou vynaložíme, se ztratí ve formě tepla.

$$dS \geq \frac{dQ_{vrat}}{T}$$

kde	dS – element entropie	[J/K]
	dQ _{vrat} – element tepla přiváděného soustavě	
	při nějaké vratné změně	[J]
	T – termodynamická teplota	[K]

Entropie je stavová veličina, která popisuje míru neuspořádanosti tělesa a závisí pouze na počátečním a konečném stavu. Při všech přeměnách energie, kdy dochází k její ztrátě a degradaci, dochází naopak k nárůstu entropie. [6]

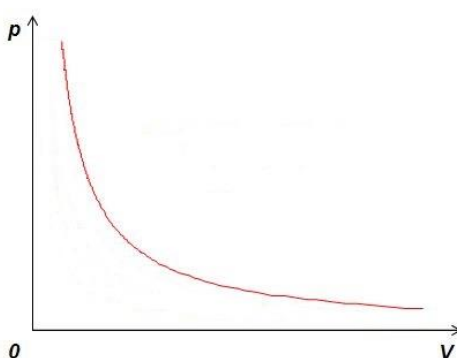
2.2 Termodynamické děje v ideálním plynu

V reálných chladících zařízeních probíhají tepelné děje, které nahrazujeme vhodnými modelovými ději. Tyto děje označujeme jako vratné termodynamické děje, které pracují s ideálními plyny a rovnovážnými stavy.

Základní termodynamické děje:

Izotermický děj

Jedná se o teoretický mezní děj, ke kterému dochází při kompresi a expanzi ideálních plynů. V průběhu tohoto děje se nemění termodynamická teplota plynu (vnitřní energie plynu), mění se pouze jeho tlak a objem. Předpokládá tedy dokonalou výměnu tepla s okolím.



Obrázek 1: Izoterma

Grafem izotermického děje je hyperbola, označována jako izoterma.

Podmínka izotermického děje:

$$dT = 0, T = \text{konst.}$$

dosazením do stavové rovnice ideálního plynu:

$$\frac{p_1 * V_1}{T_1} = \frac{p_2 * V_2}{T_2}$$

$$p_1 * V_1 = p_2 * V_2$$

$$p * V = \text{konst.}$$

Boyle-Mariotteův zákon

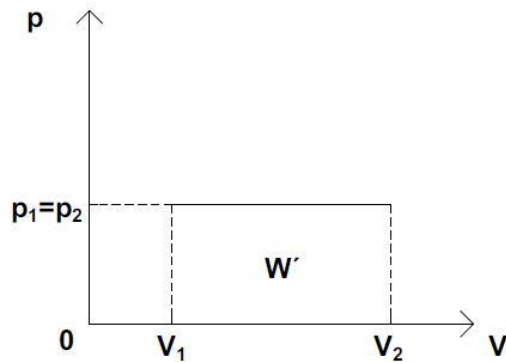
Při tomto ději se veškeré teplo Q_p přijaté plynem spotřebuje na vykonanou práci W' , protože nedochází ke změně vnitřní energie ΔU . Velikost vykonané práce se rovná příslušné ploše pod izotermou v grafu.

$$Q_p = W'$$

$$\Delta U = 0$$

Izobarický děj

Izobarický děj, který probíhá v ideálním plynu za konstantního tlaku. Mění se však termodynamická teplota a objem plynu.



Obrázek 2: Izobara

Grafem izobarického děje je úsečka, označována jako izobara.

Podmínka izobarického děje:

$$dp = 0, p = \text{konst.}$$

dosazením do stavové rovnice ideálního plynu:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{V}{T} = \text{konst.}$$

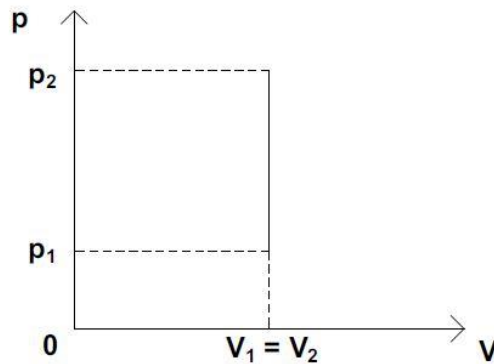
Gay-Lussacův zákon

Při tomto ději plyn koná práci. Teplo Q_p , které plyn přijme, se částečně spotřebuje na přírůstek vnitřní energie ΔU (přírůstek teploty) a částečně na plynem vykonanou práci. Velikost takto vykonané práce odpovídá ploše pod izobarou v grafu.

$$Q_p = \Delta U + W'$$

Izochorický děj

Při izochorickém ději zůstává v ideálním plynu jeho objem konstantní. Mění se pouze tlak a termodynamická teplota plynu.



Obrázek 3: Izochora

Grafem izochorického děje je úsečka, označována jako izochora.

Podmínka izochorického děje:

$$dV = 0, V = \text{konst.}$$

dosazením do stavové rovnice ideálního plynu:

$$\frac{p_1 * V_1}{T_1} = \frac{p_2 * V_2}{T_2}$$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$$\frac{p}{T} = \text{konst.}$$

Charlesův zákon

Při tomto ději veškeré teplo, které plyn přijme je spotřebováno na přírůstek energie ΔU (přírůstek teploty), plyn tedy nekoná žádnou práci.

$$Q_p = \Delta U$$

$$W' = 0$$

Adiabatický děj

Jedná se o děj, který probíhá v tepelně izolované soustavě v ideálním plynu a probíhá tak rychle, že k výměně tepla s okolím nemůže dojít. Při tomto ději se mění všechny tři stavové veličiny – tlak, teplota a objem plynu.

Podmínkou adiabatického děje je, že tento děj probíhá bez sdílení tepla s okolím.

$$Q_{12} = 0, dq = 0$$

Pro rovnici adiabaty se využívá Poissonův zákon.

$$p * V^{\chi} = konst.$$

$$\chi = \frac{c_p}{c_v}$$

$$\chi > 1$$

kde χ – Poissonova konstanta

c_p – měrná tepelná kapacita plynu při konstantním tlaku (izobarický děj)

c_v – měrná tepelná kapacita plynu při konstantním objemu (izochorický děj)

Adiabatický děj se využívá pro proudění dýz a při idealizované expanzi a kompresi ve strojích. [4], [6]

Polytropický děj

Polytropický děj je obecný děj, který nahrazuje všechny předešlé a vyskytuje se běžně v praxi. Při kompresi a expanzi plynů se pohybuje nejčastěji mezi izotermickým a adiabatickým dějem.

Je popsán následující rovnicí:

$$p * V^n = konst.$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n$$

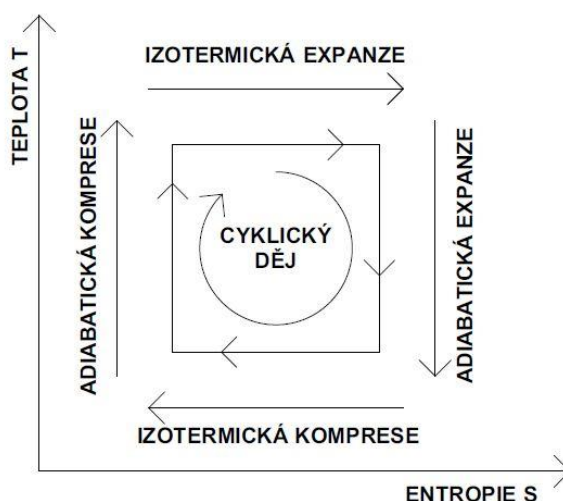
$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{n-1}$$

2.3 Strojní chlazení

Ve vzduchotechnice se zpravidla setkáváme se strojním chlazením, které probíhá ve strojních chladicích zařízeních. Tato zařízení obsahují uzavřený chladicí oběh, který vzniká na základě termodynamických procesů. Jejich základem je vypařování pracovní látky a její návrat do výchozího, původního stavu jinou cestou, než kterou procházela předchozími změnami. Pracovní látky pro chlazení se v technické praxi označují jako chladiva. [1], [2]

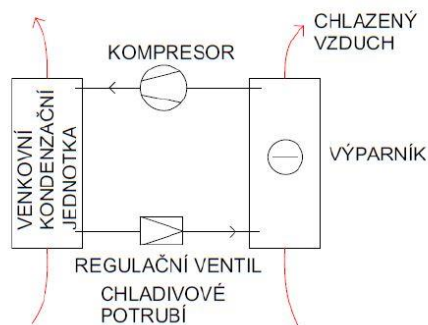
2.4 Chladicí okruh

V chladicím okruhu cirkuluje určité množství pracovní látky (chladiva), která prochází za sebou účelně seřazenými fyzikálními změnami. Ochlazovaná látka předává teplo kapalnému chladivu při nízké teplotě a to mění jeho přijetím své skupenství – vypařuje se. Dále se páry chladiva stlačí přívodem další energie a zvýší svoji teplotu. V tomto stavu se z pracovní látky odvede teplo do chladicí látky, přičemž páry chladiva zkondenzují. U kapalného chladiva pak dojde ke snížení jeho tlaku a teploty a tím se dostane zpět do výchozího stavu. [2], [3]

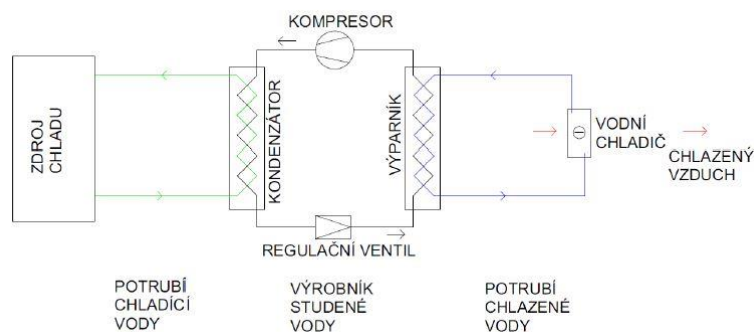


Obrázek 4: Chladicí okruh

Teplo ochlazované látky může být odebíráno přímo chladivem nebo pomocí další cirkulující látky – teponosné látky. Podle toho rozlišujeme chlazení přímé a chlazení nepřímé. U přímého chlazení vzduchu dochází k výměně tepla bezprostředně ze vzduchu do chladiva ve výparníku. Naopak u nepřímého chlazení je teplo předáváno ze vzduchu do vody či nemrznoucí kapaliny ve vodním chladiči a teprve pak je teponosná látka dopravena pomocí čerpadla na výparník, kde se chladí. [2]



Obrázek 5: Přímé chlazení



Obrázek 6: Nepřímé chlazení

2.5 Prvky chladicího okruhu

Chladicí oběh je tvořen soustavou prvků, které jsou propojené chladivovým potrubím.

Obecně se tento uzavřený okruh skládá ze tří typů prvků:

- prvky, ve kterých dochází k přenosu tepelné nebo jiné energie bez přívodu mechanické energie z vnějšku – výměníky tepla
- prvky, kde probíhá přeměna energie mechanické na tepelnou či naopak – kompresory
- prvky, v nichž dochází ke snížení tlaku pracovní látky procesem škrcení – expanzní ventily, kapilární trubice

2.6 Kompresorový chladicí okruh

V kompresorovém parním chladicím okruhu chladivo neustále mění své kapalně skupenství na plynné a naopak. Pracovní látka tedy z hlediska termodynamiky pracuje v kruhovém oběhu, tzv. uzavřeném cyklu. Podmínky pro funkčnost kompresorového oběhu jsou dány vlastnostmi pracovní látky daného oběhu. Hlavní vlastností chladiva je závislost teploty varu na tlaku. Při teplotě varu je kapalně a parní skupenství v rovnováze a k jeho změně dojde při dodání nebo odebrání tepla. V případě dodání tepla dochází k vypařování, naopak při jeho odebí-

rání pracovní látka kondenzuje. Nazývá se tedy teplo fázové změny, v tomto případně výparné nebo kondenzační. Jako pracovní látky se využívají chemické sloučeniny s technicky realizovatelnými tlaky při pracovních teplotách chladicího okruhu.

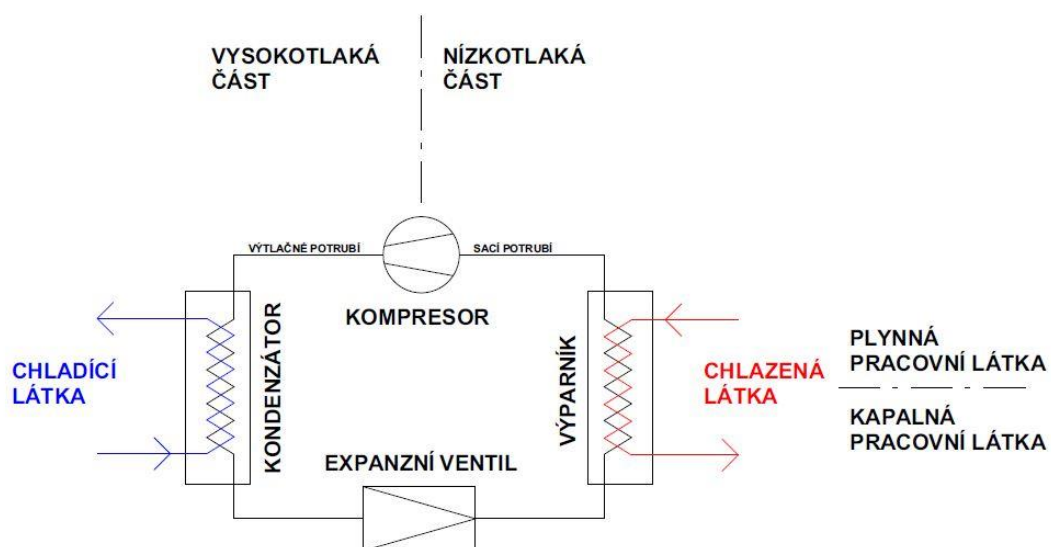
Parní kompresorový chladicí okruh se skládá ze čtyř základních prvků. První z prvků je výparník. Ten umožňuje hlavní funkci kompresorového oběhu. Jeho prací je ochlazení dané látky, zajištění tepelného toku do oběhu a vytvoření žádoucího účinku – tepelného toku na nižší teplotní úrovni, než je teplota okolí. Tento jev je způsobený díky vypařování pracovní látky a je první funkční změnou skupenství v parním oběhu. Změna skupenství nastává při neměnném tlaku a odpovídající teplotě vypařování. Prostup tepla z ochlazované látky do pracovní látky, která se vypařuje, je podmíněn rozdílem teplot. Vypařující se pracovní látka musí mít tedy nižší teplotu, než je teplota ochlazované látky. Ochlazovaná látka snižuje svoji teplotu díky odevzdanému teplu, zatímco pracovní látka zvyšuje svou entalpii.

Druhým prvkem chladicího okruhu je kompresor, který je vybavený vnějším pohonem, zpravidla elektromotorem. Jeho úkolem je stlačování páry pracovní látky okruhu z nižšího, výparného, tlaku na tlak vyšší, kondenzační. Zároveň dopravuje pracovní látku od výparníku ke kondenzátoru a zvyšuje její entalpii díky práci přivedené do kompresoru.

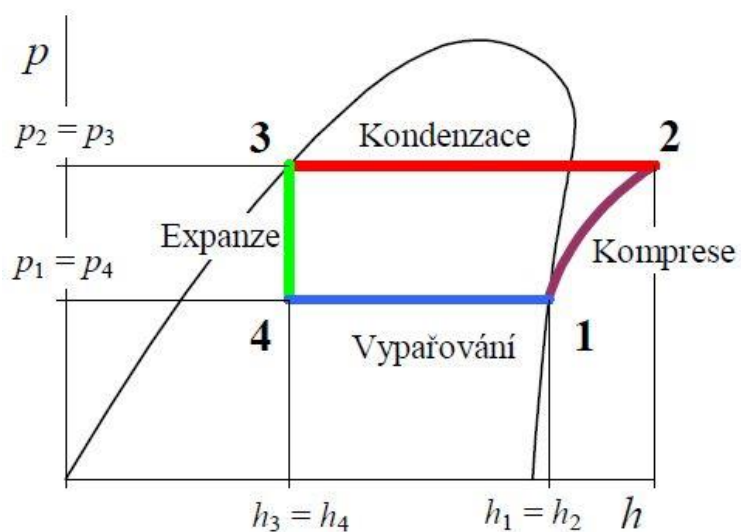
V kondenzátoru, dalším prvku chladicího okruhu, dochází ke kondenzaci pracovní látky. Látka se zde mění z páry na skupenství kapalné. Kondenzace je druhou vynucenou funkční změnou pracovní látky a dochází k ní díky chladicí látce. K tomuto ději dochází při neměnném kondenzačním tlaku a odpovídající kondenzační teplotě. K prostupu tepla dochází při rozdílu teplot, kdy teplota chladicí látky musí být nižší, než je teplota pracovní látky v okruhu. Odebráním tepla z oběhu dochází ke snížení entalpie, tedy snížení pracovní schopnosti kondenzující pracovní látky.

Posledním prvkem chladicího oběhu je expanzní ventil, který zkondenzovanou pracovní látku dopravuje z kondenzátoru zpět na výparník. Pracovní látka je transportována z vyššího, kondenzačního, tlaku na nižší, výparný, tlak. V této fázi se entalpie pracovní látky nemění, protože při expanzi se nekoná práce a ani se nesdílí teplo do okolí. V důsledku poklesu tlaku díky expanzi klesá i teplota pracovní látky. Látka se zde nachází ve formě rovnovážné směsi kapaliny a par odpovídající stavu mokrých par pracovní látky.

Z hlediska tlakových úrovní má chladicí okruh dvě části – vysokotlakou a nízkotlakou. Obě části jsou od sebe odděleny dělícími prvky – kompresorem a expanzním prvkem (škrtkovým ventilem). [1]



Obrázek 7: Kompresorový okruh



Obrázek 8: P-h diagram [3]

2.7 Konstrukční části kompresorových chladících okruhů

2.7.1 Kompresory

Kompresory v chladícím okruhu fungují jako prvky, které přeměňují mechanickou energii na tepelnou a naopak.

Dle principu stlačování se dělí na:

- objemové
 - dnes běžně používané
 - ke stlačení plynu (zvýšení tlaku) dochází zmenšením prostoru, ve kterém se plyn nachází
- rychlostní (dynamické)
 - ke stlačení plynu dochází zrychlením proudícího plynu a následnou přeměnou kinetické energie v tlakovou
 - např. turbokompresory

Objemové kompresory

Dnes jsou nejčastěji používané kompresory v chladicí technice pístové, spirálové a rotační kompresory.

Pístové kompresory obsahují píst, který se pohybuje ve válci a tím stlačuje plyn. Plyn odchází z válce otevřeným výfukovým ventilem. V okamžiku, kdy je dosaženo horní úvratě se výfukový ventil uzavře a otevře se ventil sací. Aby byla dosažena co nejvyšší účinnost, mají kompresory co nejmenší hluché prostory mezi pístem v horní úvratí a válcem. Běžně se vyrábějí jako jednoválcové, pro vyšší výkony mohou být až osmi válcové.

Spirálové neboli scroll kompresory jsou tvořeny dvěma spirálami. První je pevná, druhá v ní krouží a je poháněná excentrem na hřídeli elektromotoru. Vznikají tak plynové kapsy, které se neustále zmenšují. Plyn je nasáván z obvodu a tlačěn do středu, kde se v ose spirály nachází výtláčový otvor. Kompresor neobsahuje žádné ventily a je výhodný hlavně díky svému tichému provozu a snadné regulaci výkonu.

Rotační kompresory obsahují také píst, který tvoří válcové těleso a pohybuje se po vnitřním obvodu válcové komory. Komora je rozdělena díky pohyblivé přepážce na sací a výtláčnou část. Tyto kompresory se vyznačují menší účinností a využívají se jen pro malé výkony (klimatizační jednotky).

2.7.2 Výměníky tepla

Prvky chladících okruhů, kde dochází k přenosu tepelné energie bez přívodu energie z vnějšku, se nazývají výměníky tepla. Nejdůležitější výměníky těchto okruhů jsou výparníky a kondenzátory, které mají rozhodující vliv na jejich funkčnost, životnost, hospodárnost a spolehlivost. Musí být tedy vhodně konstruované a nadimenzované.

2.7.2.1 Výparníky

Výparníky jsou výměníky tepla, kde se teplo předává z chlazené látky (teplonosné látky) do chladiva.

Dle druhu ochlazovaných látek se výparníky dělí na:

- výparníky na chlazení kapalin
- výparníky na chlazení plynů
- výparníky speciální

Dle styku kapalného chladiva s teplosměnnou plochou na:

- zaplavené výparníky – teplosměnná plocha je do určité výšky trvale ponořena v kapalném chladivu. U těchto výparníků je dobré využití plochy, na druhou stranu je nevýhodou velká náplň a v jejím důsledku velká setrvačnost a vliv sloupce kapalného chladiva na teplotu vypařování.
- suché výparníky – chladivo proudí v trubkách a ochlazovaná látka je vně trubek. Výhodou těchto výparníků je malá náplň chladiva a možnost regulace výkonu zastavením přívodu chladiva.
- sprchované výparníky – na teplosměnnou plochu se chladivo přivádí shora a jeho množství je 4-8x větší než je vypařené chladivo. Chladivo stéká po ploše, jeho příslušná část se vypaří a zbytek chladiva díky čerpadlu recirkuluje. Nutnost použití čerpadla je nevýhodou sprchovaných výparníků.
- výparníky s nucenou cirkulací chladiva – dochází zde k cirkulaci chladiva v množství 3-6x větším, než je vypařené množství. Tento princip je v hodný především pro výparníky s dlouhými trubkami nebo při složitých rozvodech chladiva do různých výšek.

2.7.2.2 Kondenzátory

Kondenzátory jsou výměníky tepla, kde je stlačeným parám chladiva odebráno teplo a dochází tak ke kondenzaci chladiva. Kondenzační teplo se odvádí přímo do vzduchu nebo do vody či jiné látky. Přehřáté páry chladiva vstupující do kondenzátoru jsou nejprve ochlazeny na kondenzační teplotu, poté zkapalňují a nakonec jsou pochlazeny. Chladivo prochází v kondenzátoru třemi stavy s rozdílnými teplotami, ale při neměnném tlaku.

Dle konstrukce a druhu látek, kterými jsou kondenzátory chlazeny, se dělí na.

- vodou chlazené kondenzátory (průtočné) – nejčastěji používané u nejnižších výkonů. Pro zpětné chlazení vody se používají chladicí věže, chladicí rybníky nebo vzduchové rekuperační chladiče.
- sprchové kondenzátory – mají teplosměnnou plochu ze svazků nejčastěji vodorovných trubek. Uvnitř trubek kondenzuje chladivo a po jejich vnějším povrchu stéká voda a odpařuje se.
- odpařovací kondenzátory – teplosměnná plocha je tvořena svazkem vodorovných hladkých nežebrovaných trubek, který je uzavřený ve skříni a sprchovaný vodou. Skříň proudí nuceně vzduch v takovém množství, aby se do něho odpařila hmotnost vody potřebná pro převedení celého kondenzačního výkonu do vzduchu.

- kondenzátory chlazené vzduchem – u malých výkonů chladících zařízení (např. ledničky) se používají kondenzátory s přirozenou konvekcí. Kondenzátory s nuceným prouděním vzduchu se používají u větších chladících výkonů. Z důvodu malého součinitele přestupu tepla je nutné zvětšovat teplosměnnou plochu.
- speciální kondenzátory – jedná se o kondenzátory, kde je odvod tepla realizován do jiných látek, než je voda či vzduch.

2.7.3 Prvky pro škrcení a regulaci průtoku chladiva do výparníku

Mezi prvky pro škrcení a regulaci průtoku chladiva patří kapilární trubice a různé druhy expanzních ventilů.

Nejjednodušším škrtícím a regulačním prvkem je kapilární trubice. Používá se u malých chladících zařízení, jako jsou chladničky nebo klimatizační zařízení do 10 kW. V těchto zařízení není použit sběrač chladiva na vysokotlaké straně a náplň chladiva je přesně určena. Trubice mají vnitřní průměr od 0,4 do 2 mm a její délka je 2 m a více v závislosti na zařízení.

Pro redukci tlaku a zároveň regulaci hmotnostního toku chladiva ve výparníku z důvodu udržení konstantního vypařovacího tlaku během provozu se využívá automatický expanzní ventil. Vypařovací tlak se nastavuje pomocí regulačního šroubu na ventilu. Tento expanzní ventil má své uplatnění u menších zařízení s jedním výparníkem a stabilním tepelným zařízením.

Termostatický expanzní ventil se používá k udržování stálého mírného přehřátí par vystupujících ze suchého výparníku.

Elektronický expanzní ventil obsahuje elektrický regulátor, který porovnává několik měřených veličin u výparníku s okamžitou hodnotou přehřátí a podle toho řídí provoz ventilu. Měřené veličiny jsou vypařovací teplota, teplota par chladiva na konci výparníku, teplota vzduchu na vstupu do výparníku a na výstupu z něj, povrchová teplota výparníku. [2]

2.8 Chladicí cykly

V chladících cyklech dochází k přenosu tepelné energie z oblasti s nižší teplotou do oblasti o vyšší teplotě.

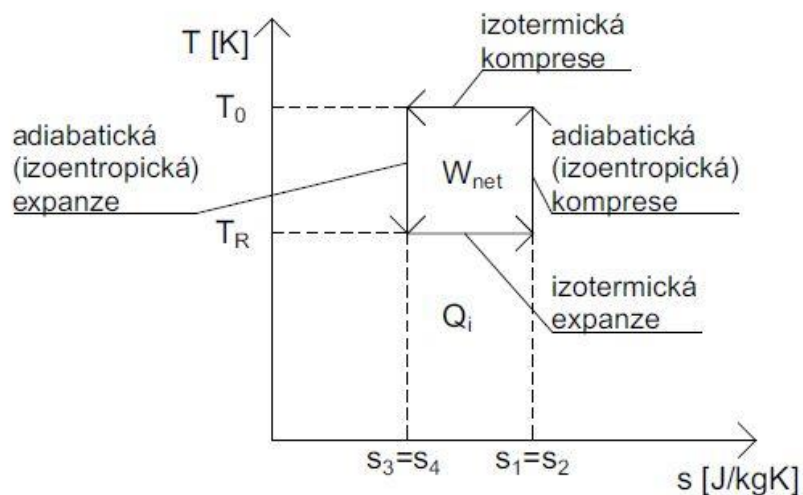
Výkon chladicího cyklu se určí pomocí chladicího faktoru EER (Energy Efficiency Ratio), což je podíl využitelné energie (chladu) a vnější dodané energie.

$$EER = \frac{\text{využitelný chladicí efekt}}{\text{energie dodávaná z externího zdroje}}$$

2.8.1 Obrácený Carnotův cyklus

Tento cyklus přečerpává teplo z nižší teploty na vyšší a práce se cyklu tedy dodává. Průběh cyklu je levotočivý, idealizovaný, nerealizovatelný a má nejvyšší účinnost. Pracuje s ideálním plynem a používá se pro srovnání účinnosti reálných chladících cyklů.

Obrácený Carnotův cyklus – v jednofázové látce



Obrázek 9: Diagram T – s

Množství tepla odvedeného při kondenzaci:

$$Q_0 = T_0 * (s_2 - s_3)$$

Teplo přijaté výparníkem:

$$Q_i = T_R * (s_1 - s_4) = T_R * (s_2 - s_3)$$

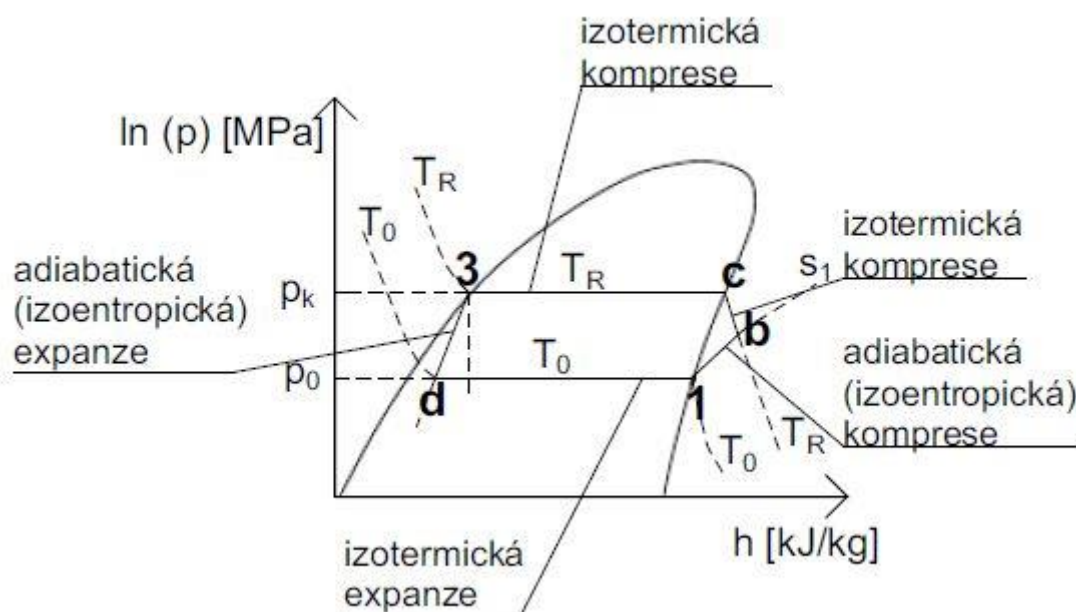
Celková práce:

$$w_{net} = Q_0 - Q_i$$

EER:

$$EER = \frac{Q_i}{w_{net}} = \frac{T_R}{T_0 - T_R}$$

Obrácený Carnotův cyklus – ve dvoufázové látce



Obrázek 10: Diagram p – h

Celková práce:

$$W_{net} = W_{1b} + W_{bc} - W_{3d}$$

Práce expanzního ventilu:

$$W_{3d} = m * (h_3 - h_d)$$

Práce izoentropického kompresoru:

$$W_{1b} = m * (h_b - h_1)$$

Práce izotermického kompresoru:

$$W_{bc} = T_0 * (s_b - s_c) - m * (h_b - h_c)$$

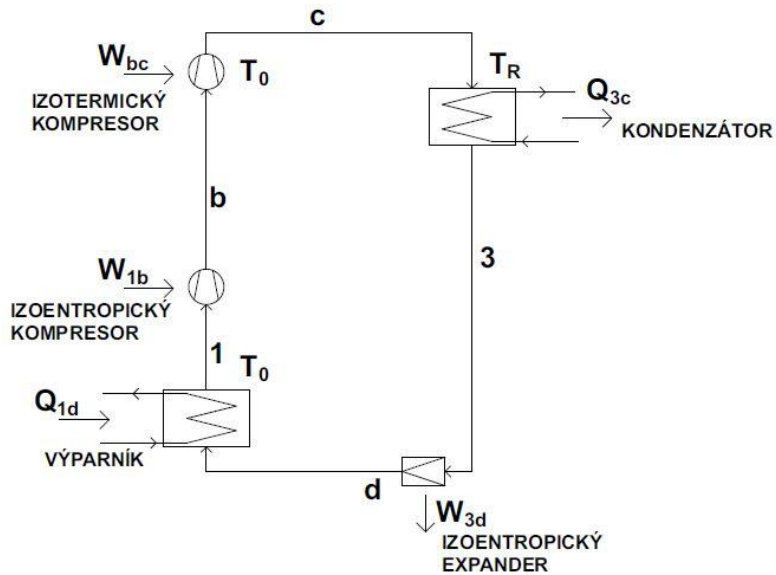
kde m – hmotnostní průtok chladiva

EER:

$$EER = \frac{Q_{1d}}{w_{net}} = \frac{T_R}{T_0 - T_R}$$

Teplo přijaté výparníkem:

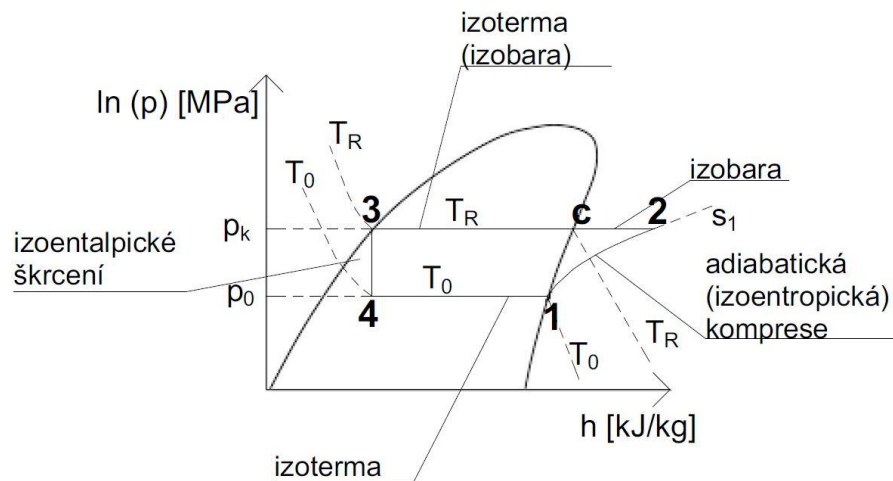
$$Q_{d1} = m * (h_1 - h_d)$$



Obrázek 11: Obrácený Carnotův cyklus ve dvoufázové látce

2.8.2 Clausius – Rankinův cyklus

Jedná se o idealizovaný parní kompresorový cyklus, u kterého se zanedbávají tepelné a tlakové ztráty.



Obrázek 12: Diagram p - h

Teplo přijaté výparníkem:

$$Q_{41} = m * (h_1 - h_4)$$

Teplo odevzdané kondenzátorem:

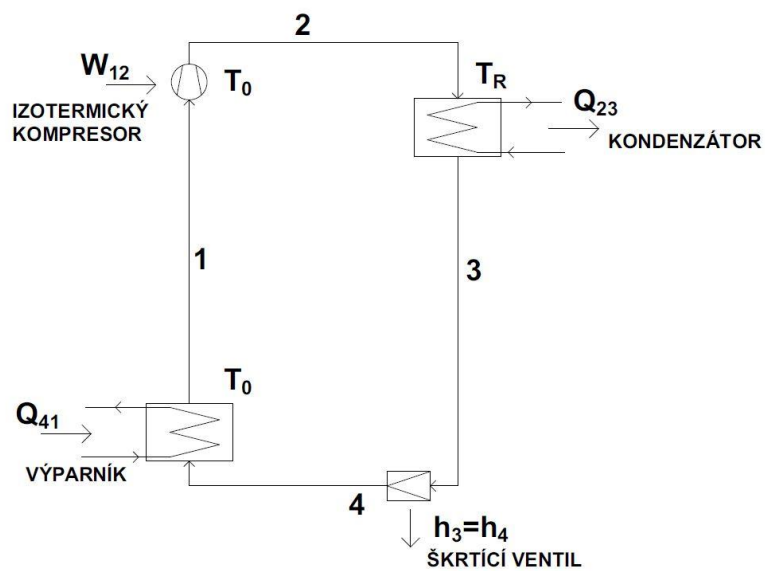
$$Q_{23} = m * (h_2 - h_3)$$

Práce kompresoru:

$$W_{12} = m * (h_2 - h_1)$$

EER:

$$EER = \frac{Q_{41}}{W_{12}} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)}$$

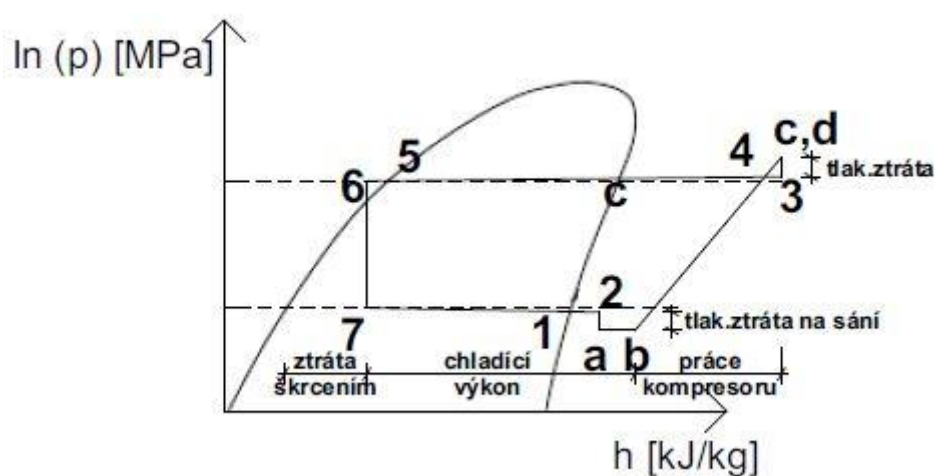


Obrázek 13: Clausisu – Rankinův cyklus

2.8.3 Skutečný parní kompresorový cyklus

Skutečný parní kompresorový cyklus má reálné průběhy dílčích pochodů probíhajících při výměně tepla a liší se od teoretických nevratností termodynamických dějů. Tento kompresorový cyklus vychází z idealizovaného Clausius-Rankinova cyklu, v němž je v porovnání s Carnotovým cyklem izoentropická expanze nahrazena expanzí s konstantní entalpií při škrcení. To znamená, že teplo a práce nejsou pouze funkcí teploty, ale jsou závislé i na vlastnostech chladiva. Měřítkem efektivnosti reálného cyklu je podíl jeho chladicího faktoru a chladicího faktoru ideálního vratného cyklu – obráceného Carnotova cyklu.

$$\eta_r = \frac{EER}{EER_{Carnot}}$$



Obrázek 14: Diagram p - h

Teplo přijaté výparníkem:

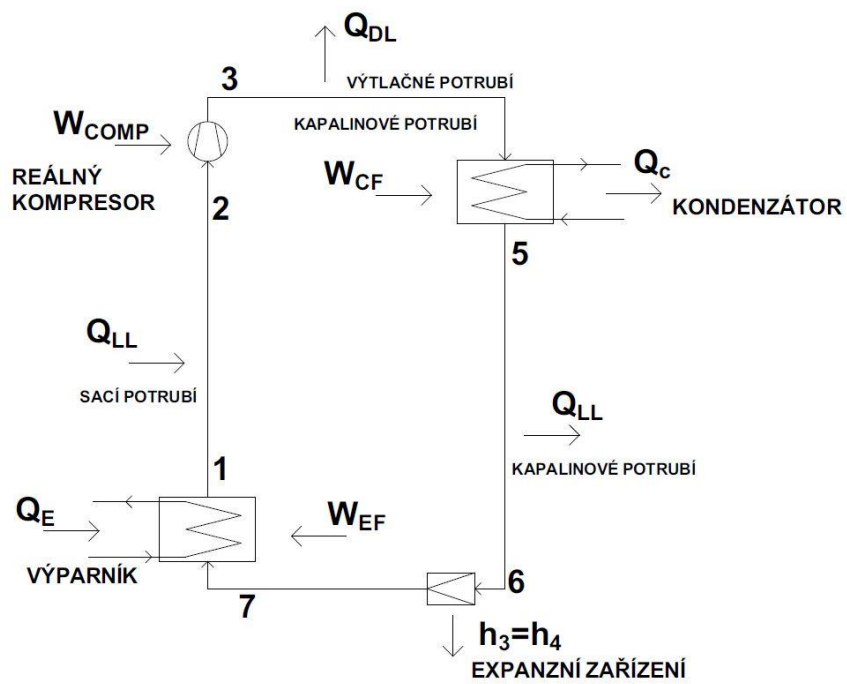
$$Q_{17} = m * (h_1 - h_7)$$

Teplo odevzdané kondenzátorem:

$$Q_{45} = m * (h_5 - h_4)$$

Skutečný chladicí faktor celého zařízení EER:

$$EER = \frac{Q_{17}}{(W_{comp} + W_{EF} + W_{CF})}$$



Obrázek 15: Skutečný parní kompresorový cyklus



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ČÁST B - APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ

CHLAZENÍ VE VZDUCHOTECHNICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tereza Vacková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2018

B APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ

Praktická část diplomové práce se zabývá návrhem vzduchotechnických zařízení pro squashové kurty ve sportovním centru. Cílem této části je návrh a následné zhodnocení dvou VZT systémů pro prostor squashových kurtů, které jsem řešila ve své bakalářské práci „Vzduchotechnika sportovního centra“.

První varianta se zabývá návrhem vzduchotechnické jednotky, která zajišťuje teplo-vzdušné vytápění a klimatizaci squashových kurtů. Tato varianta byla podrobně řešena v mé bakalářské práci, odkud jsem převzala veškerá data.

Druhá varianta navrhuje VZT jednotku, která zajišťuje pouze přívod požadovaného množství čerstvého větracího vzduchu a pokrývá tepelnou zátěž a tepelné zisky větráním. Tepelné zisky a ztráty místnost pokrývá systém Multisplit přímého chlazení, který upravuje cirkulačního vzduch na kurtech.

1 NÁVRHOVÉ PARAMETRY

Klimatické údaje stavby

Pro stanovení návrhových klimatických podmínek byla použita data uvedená v následující tabulce.

Tabulka 1: Klimatické údaje objektu

	teplota [°C]	měrná vlhkost [g/kg]	entalpie [kJ/kg]
zima	-12	1,0	-
léto	29	-	56,2

Požadavky na vnitřní prostředí

Požadavky na vnitřní prostředí byly stanoveny podle příslušné legislativy. Tepoty jsem volila s ohledem na daný prostor.

Tabulka 2: Požadavky na vnitřní prostředí

	teplota [°C]	relativní vlhkost [%]	rychlost proudění [m/s]	hluk [dB/A]
léto	24	-	0,16	60
zima	18	-	0,13 - 0,20	

Tepelné ztráty a tepelná zátěž

Výpočet tepelných ztrát byl proveden dle ČSN EN 12831 a výpočet tepelné zátěže byl proveden v softwaru Teruna.

Tabulka 3: Tepelné ztráty a tepelná zátěž

tepelné ztráty	3834,23 W
tepelná zátěž	7879,10W

Tabulka 4: Tabulka místností

Tabulka místností		Údaje o místnosti			Parametry větrání					Tepelné bilance		Výsledný průtok vzduchu	
		plocha	světla výška	objem	počet	dávka	výměna	přívod	odvod	tepelná ztráta	tepelná zátěž	přívod	odvod
č.m.	Název místnosti	m ²	m	m ³	ks (os)	m ³ /h	x/h	m ³ /h	m ³ /h	kW	kW	m ³ /h	m ³ /h
Zařízení č. 2 - klimatizace a teplovzdušné větrání squashových kurtů													
032	squashový kurt	63,52	7,08	449,72	2	100		200	200				
032	squashový kurt	63,52	7,08	449,72	2	100		200	200				
032	squashový kurt	63,52	7,08	449,72	2	100		200	200				
Σ				1349,2			1,7	600	600	3,8	7,9	2350	2350

Systém pracuje jako rovnotlaký bez řízené úpravy vlhkosti vzduchu.

2 VARIANTA 1 – VZDUCHOTECHNICKÁ JEDNOTKA S PŘÍMÝM VÝPARNÍKEM

Varianta 1 je převzata z mé bakalářské práce. Jedná se o systém vzduchotechnické jednotky, která zajišťuje teplovzdušné vytápění a klimatizaci squashových kurtů. Návrh jednotky byl proveden v návrhovém programu Aerocad a byla navržena vzduchotechnická jednotka Aeromaster XP 04 od firmy Remak určená do vnitřního prostředí.

Jednotka je umístěna ve strojovně vzduchotechniky na střeše a pracuje v rovnotlakém režimu s celkovým množstvím vzduchu $V_p = V_o = 2350 \text{ m}^3/\text{h}$, které bylo navrženo na extrémní hodnotu tepelné zátěže v letním období. Množství venkovního vzduchu dle počtu osob bylo stanoveno na $V_e = 600 \text{ m}^3/\text{h}$, cirkulační vzduch je tedy $V_c = 1750 \text{ m}^3/\text{h}$.

Pro ochlazování vzduchu v letním období je jednotka vybavena chladičem, který pracuje jako přímý výparník. V bakalářské práci jsem se návrhem zdroje chladu nezabývala, návrh je

tedy součástí této práce. Jako zdroj chladu jsou navrženy dvě kondenzační jednotky od firmy Mitsubishi electric 2x PUAZ-ZRP35 o chladicím výkonu 1,6 kW – 4,5 kW.

Kondenzační jednotka PUAZ-ZRP35

Označení venkovní jednotky		PUAZ-ZRP35VKA
Chlazení	chladicí výkon (kW)	3,6 (1,6-4,5)
	příkon (kW)	0,94
	SEER	5,7
	třída energetické účinnosti	A+
	Oblast použití (°C)	-15~+46
Vytápění	topný výkon (kW)	4,1 (1,6-5,2)
	příkon (kW)	1,07
	COP / SCOP	3,9
	třída energetické účinnosti	A
	Oblast použití (°C)	-11~+21

Označení venkovní jednotky		PUAZ-ZRP35VKA
Objemový průtok vzduchu (m³/h)		2700
Hladina akustického tlaku dB(A)	chlazení/ topení	44 / 46
Rozměry (mm)	Š/H/V	809/300/630
Hmotnost (kg)		43
Údaje o chladivu		
Celková délka vedení (m)*		50
Max. výškový rozdíl (m)		30
Množství chladiva (kg) / typ		2,2 / R410A
Množství předplněného chladiva pro (m)		30
Množství doplněného chladiva (g/m)		
Průměr připojení chladiva Ø (mm)	kap.	6
	plyn	12

Vzduchotechnická jednotka:

REMAK a.s.
Roznov pod Radhoštěm
Czech Republic
<http://www.remak.cz>



ID nabídky:

Číslo projektu

2

Název projektu

squashové kurty

Související obchodně technická dokumentace *

Sestavné jednotky AeroMaster XP (návod na montáž a obsluhu) 08/2013

NS 120

NS 130 10/2008

Snímač tlakové difference P33 (návod)

Montážní návod SUMX - doplněk montážního návodu Vento 01/2009

Příručka měniče VLT HVAC Basic Drive FC 101

* Aktuální verze níže uvedených dokumentů je dostupná na www.remak.eu

Chyby projektu

Některé zařízení není oceněno, nelze udělat součet cen za projekt

Číslo zařízení
Určení jednotky
Popis zařízení *

02 Název zařízení squash

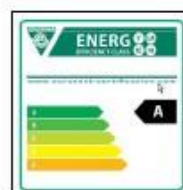
Standardní prostředí

SESTAVNÁ KLIMATIZAČNÍ JEDNOTKA

- standardně dodávány varianty pro vnitřní i venkovní instalace pro prostředí C2 nebo C3 dle (ČSN) EN ISO 14713-1
- schváleno k použití v hygienických a čistých aplikacích (SZÚ - 111130, S 294/01)
- standardní rozsah pracovních teplot je -40°C až +40°C
- samonosná bezrámová konstrukce se zesíleným vnitřním pláštěm
- sendvičové panely s 50 mm nehořlavou izolací
- parametry dle EN 1886:2008 (M): C2, L2 resp. L1, T3, TB3
- zvuková neprůzvučnost pláště $R_w=43$ dB
- ES prohlášení shody vydáno ve spolupráci s TÜV SÜD Czech
- certifikát shody dle GOST R
- vyrobeno a vyráběno v souladu s certifikovaným systémem řízení jakosti ISO 9001:2001
- * Další informace ke specifikacím a užití zařízení a příslušenství viz. Související obchodně technická dokumentace

Druh, rozměr
Model box
Hmotnost zařízení

AeroMaster XP 04
AMXP3
662 kg



Klimatické a vstupní podmínky (zima/léto)

Teplota vzduchu (venkovní) [°C]	-12 / 29	Teplota z místnosti [°C]	18 / 24
Relativní vlhkost (venkovní) [%]	95 / 37	Relativní vlhkost z místnosti [%]	45 / 65
Tlak vzduchu [kPa]	99 / 99		

Vzduchové parametry zařízení (přívod/odvod)

Skutečný průtok vzduchu [m³/h]	2350 / 2350	Tlaková ztráta komponentů v sestavě [Pa]	388 / 161
Rychlost v průřezu [m/s]	2.38 / 2.38	Výstupní teplota z přívodu (zima/léto) [°C]	23 / 18
Skutečná externí tlaková ztráta (rezerva) [Pa]	300 / 290	Výstupní relativní vlhkost z přívodu (zima/léto) [%]	27 / 78
Rozdíl (k zaregulování) [Pa]	0 / 0		

Výkonové parametry zařízení (přívod/odvod) *

Dimenzováno na výkonový stupeň ventilátorů	5 / 5	Součtové výkony pro ohřev [kW]	6 / 0
Příkon ventilátorů [kW]	0.82 / 0.59	Součtové výkony pro chlazení [kW]	9 / 0
Specifický výkon zařízení SFP_{vzduch} [W·s·m³⁻¹]	2158	Výkon zpětného získání tepla [kW]	3

*Návrh s vlivem kondenzace

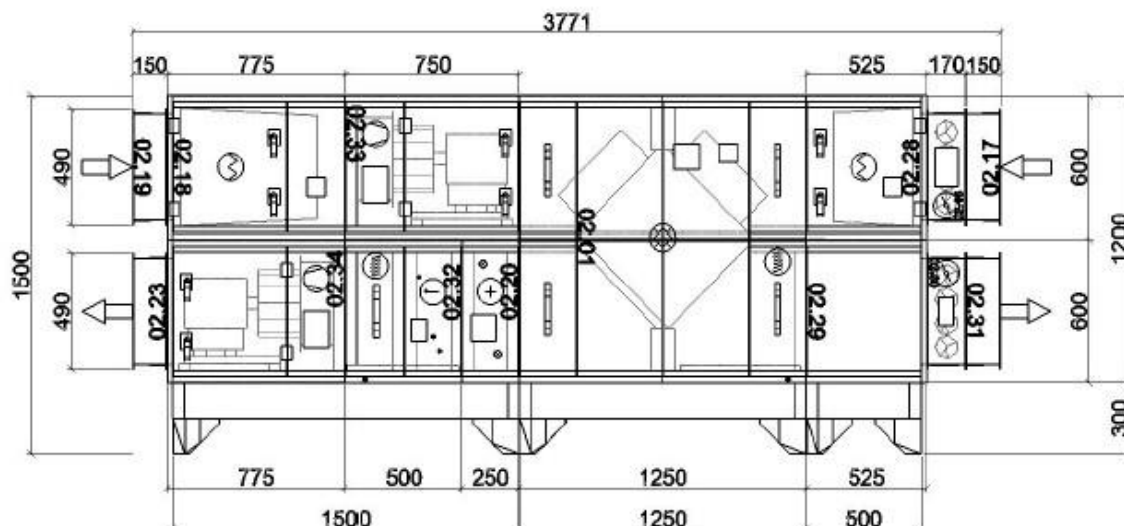
Hlukové parametry zařízení

Přívod	Hladiny akust. výkonu v oktafókových pásmech $L_{w,okt}$ [dB(A)] a celk. hladina $L_{w,cel}$ [dB(A)]								
Oktafóvé pásmo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$L_{w,cel}$
Vstup	41.9	55.7	65.3	68.8	66.1	59.5	53.1	45.5	72.2
Výstup	46.9	61.7	74.3	80.8	81.1	78.5	74.1	67.5	85.8
Okolí	39.9	45.6	55.2	53.8	51.4	48.3	44.8	34.3	59.3

Odvod	Hladiny akust. výkonu v oktafókových pásmech $L_{w,okt}$ [dB(A)] a celk. hladina $L_{w,cel}$ [dB(A)]								
Oktafóvé pásmo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	$L_{w,cel}$
Vstup	42.5	57.2	69.7	75.1	74.2	69.6	64.1	57.6	79.1
Výstup	44.5	59.2	69.7	74.1	73.2	69.6	65.1	58.6	79.5
Okolí	38.5	44.1	53.6	52.1	49.5	46.4	42.8	32.4	57.6

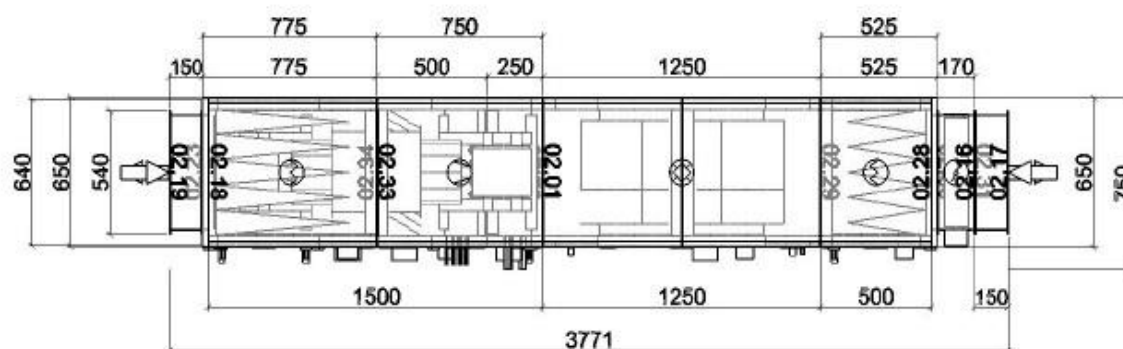
Grafický pohled
Zařízení
Obrysové rozměry

Zepředu XZ
02 - v. upravená
X = 3771 mm, Y = 1500 mm



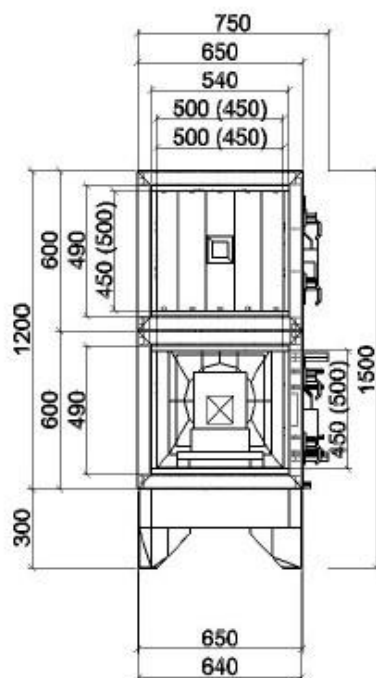
Grafický pohled
Zařízení
Obrysové rozměry

Shora XY
02 - v. upravená
X = 3771 mm, Y = 750 mm



Grafický pohled
Zařízení
Obrysové rozměry

Zleva YZ
02 - v. upravená
X = 750 mm, Y = 1500 mm



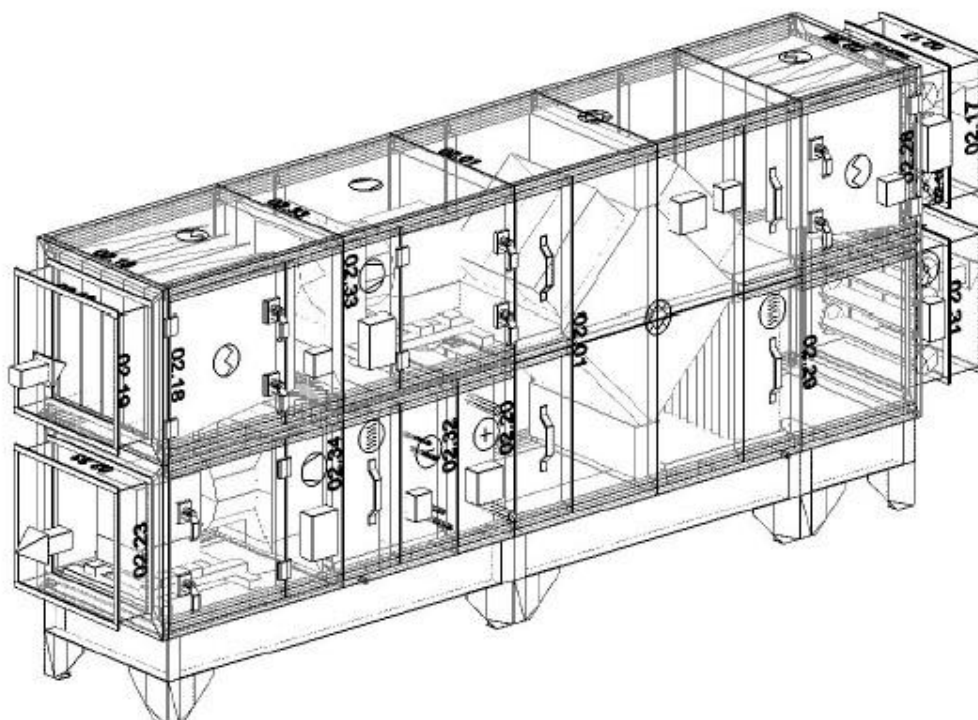
Grafický pohled
Zařízení
Obrysové rozměry

Zprava YZ
02 - v. upravená
X = 750 mm, Y = 1500 mm



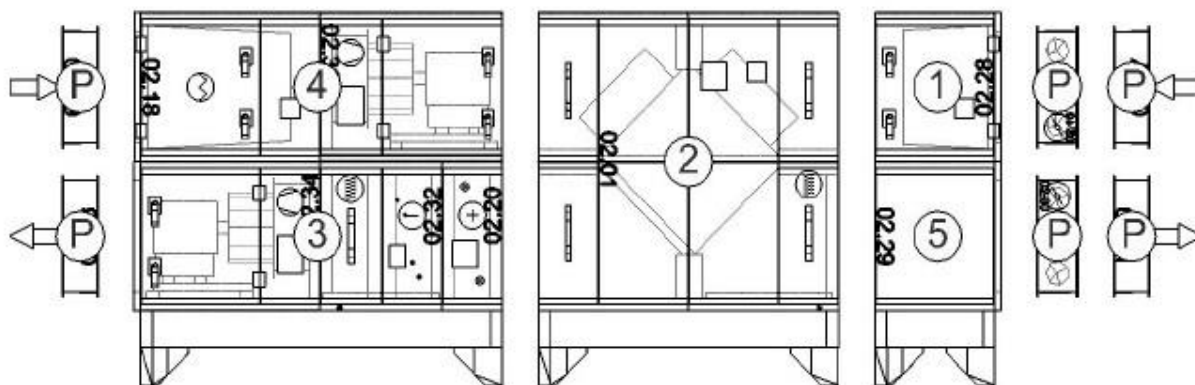
Grafický pohled
Zařízení
Obrysové rozměry

Axonometrie XYZ zepředu
02 - v. upravená
X = 3771 mm, Y = 750 mm, Z = 1500 mm



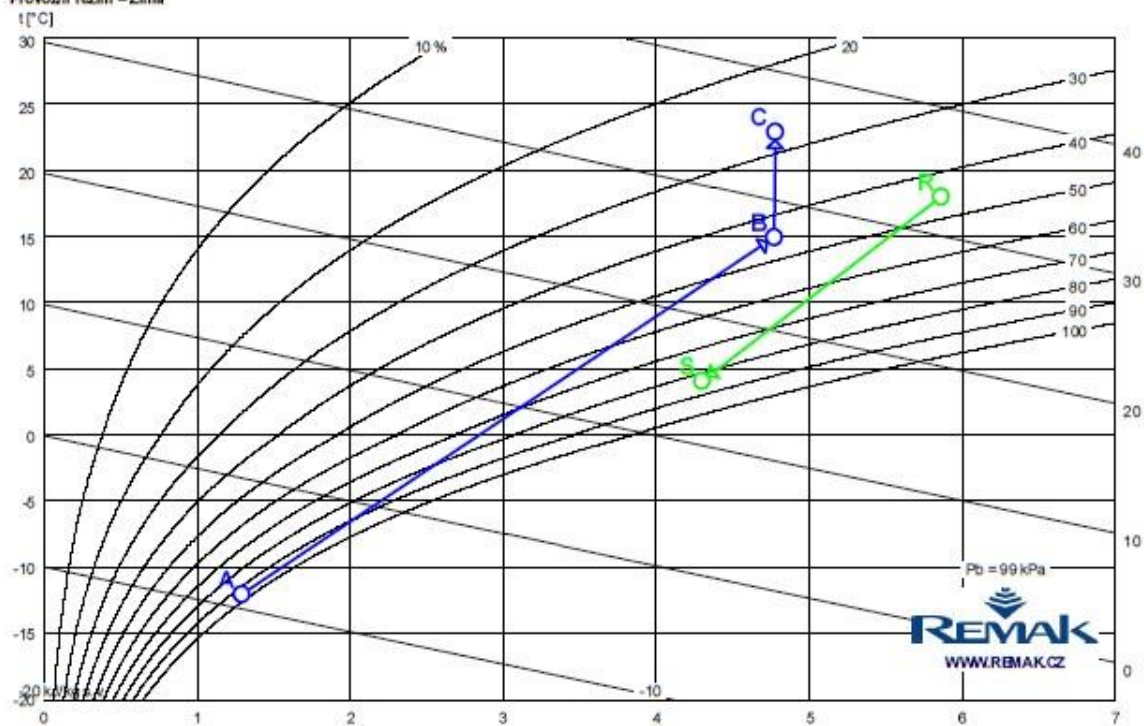
Grafický pohled
Zařízení
Obrysové rozměry

Bloky
02 - v. upravená
X = 3771 mm, Y = 1500 mm



Psychrometrický diagram

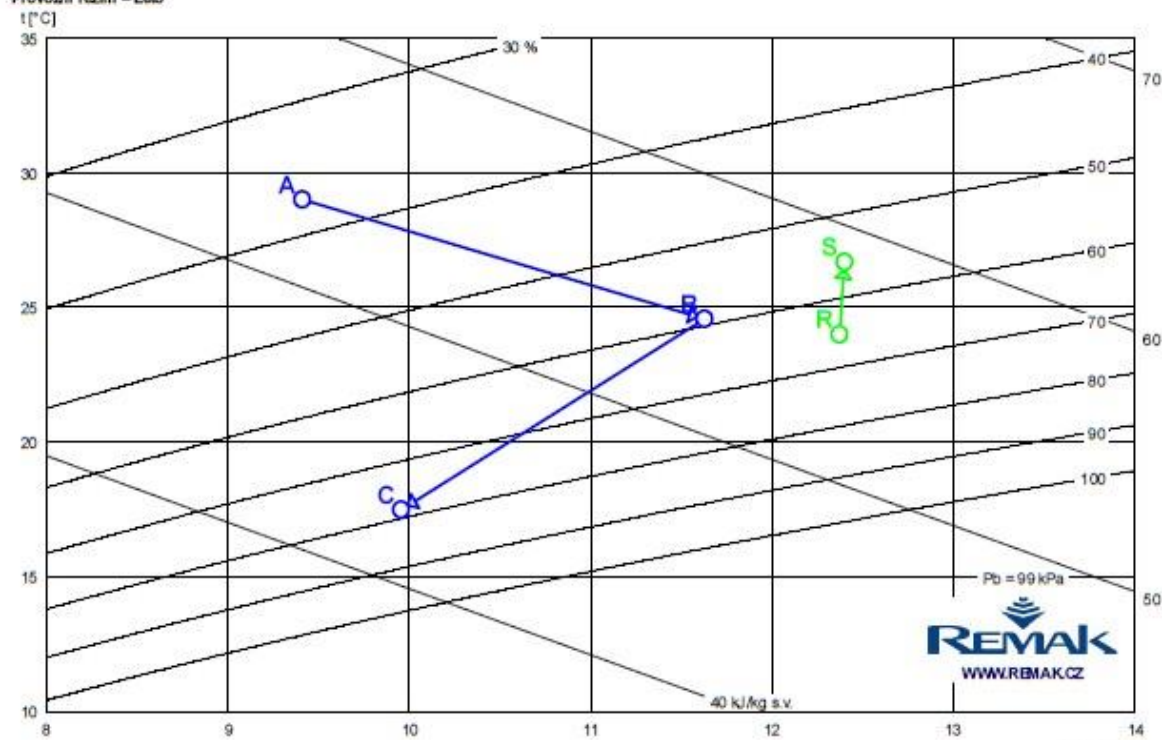
Provozní režim – Zima



Bod	Pozice	x [g/kg s.v.]				
		Teplota vzduchu t [°C]	Relativní vlhkost φ [%]	Měrná vlhkost x [g/kg]	Entalpie h [kJ/kg]	Hustota ρ [kg/m³]
A	02.01	-12.0	95.0	1.3	-8.9	1.33
B		14.9	44.6	4.8	27.2	1.18
C		22.9	27.2	4.8	35.3	1.17
R	02.01	18.0	45.0	5.9	33.0	1.19
S		4.1	83.2	4.3	14.9	1.18

Psychrometrický diagram

Provozní režim – Létá



Bod	Pozice	Teplota vzduchu	Relativní vlhkost	Měrná vlhkost	Entalpie	Hustota
		t [°C]	φ [%]	x [g/kg]	h [kJ/kg]	ρ [kg/m³]
A	02.01	29.0	37.0	9.4	53.3	1.14
B		24.6	59.1	11.6	54.4	1.16
C	02.32	17.5	78.4	10.0	42.9	1.18
R	02.01	24.0	65.0	12.4	55.7	1.16
S		26.7	55.3	12.4	58.6	1.18

Detaily ke komponentám zařízení

02.17 Tlumičí vložka		DV 500-450	
Hmotnost (+/-10%) [kg]	3	Tlaková ztráta [Pa]	0
02.16 Klapka uzavírací		LK 500-450	
Hmotnost (+/-10%) [kg]	9	Tlaková ztráta [Pa]	0
Skutečný průtok vzduchu [m³/h]	588	Procházka klapek [m²]	0.23
• Servopohon LF24SR			
02.28 Sekce filtru		XPHO 04/S	
Hmotnost (+/-10%) [kg]	41	Servisní přístup	Zleva
Materiál vnějšího pláště	Lakovaný plech (RAL 9002)	Skutečný průtok vzduchu [m³/h]	588
• Panel čelní - vstup XPK 04/P			
Tlaková ztráta [Pa]	1		
• Montážní sada panelu XPK 04/P (MSR)			
• Filtrační vložka XPNH 04/S (K)			
Tlaková ztráta pro výpočet [Pa]	111	Typ filtru	Kapsový
Počáteční tlaková ztráta [Pa]	21	Trída filtrace	M5
Rychlost v průřezu [m/s]	0.72	Koncová tlaková ztráta [Pa]	200

Teplotní odolnost max. [°C]	70	Regenerovatelnost	Neregenerovatelný
• Snímač tlakové difference P33 N (30 - 500 Pa)			

02.01 Sekce deskového rekuperátoru s by-passem	XPMK 04/BP (SV - 60/W - 43,5)
---	--------------------------------------

Hmotnost (+/-10%) [kg]	192	Vstupní parametry odvodního vzduchu	Zima	Léto
Materiál vnějšího pláště	Lakovaný plech (RAL 9002)	Teplota [°C]	18,0	24,0
Skutečný průtok vzduchu [m³/h]	588 / 588	Relativní vlhkost [%]	45	65
Tlaková ztráta [Pa]	12 / 12	Vstupní parametry odvodního vzduchu	Zima	Léto
Provozovat v období	Zima i léto	Teplota [°C]	4,1	26,7
Vstupní parametry přívodního vzduchu	Zima	Relativní vlhkost [%]	83	55
Teplota [°C]	-12,0	Entalpie [kJ/kg]	14,92	58,58
Relativní vlhkost [%]	95	Výkonové parametry	Zima	Léto
Vstupní parametry přívodního vzduchu	Zima	Účinnost [%]	59	55
Teplota [°C]	5,8	Výkon [kW]	3,4	-0,5
Relativní vlhkost [%]	25	Označení Hovů	SV - 060/W - 43,5	
Entalpie [kJ/kg]	9,62			

• Eliminátor kapek a vana na odvodu XPNU 04

Tlaková ztráta [Pa]	2	Relativní vlhkost [%]	25	43
• Servopohon klapky obtoku NM 24A-SR/D		Vstupní parametry přívodního vzduchu	Zima	Léto
• Snímač namrzání NS 120		Teplota [°C]	14,9	24,6
• Souprava pro odvod kondenzátu XPOK 300		Relativní vlhkost [%]	45	59
• Směšování XPMIX 04		Entalpie [kJ/kg]	27,18	54,42
Skutečný průtok vzduchu [m³/h]	2350 / 1763			
Tlaková ztráta [Pa]	11 / 0			
Procento cirkulačního vzduchu [%]	75			
Vstupní parametry přívodního vzduchu	Zima			
Teplota [°C]	5,8			
Relativní vlhkost [%]	25			
Entalpie [kJ/kg]	9,62			

• Servopohon směšování LMC 24A-SR

02.20 Sekce ohřivače	XPTV 04
-----------------------------	----------------

Hmotnost (+/-10%) [kg]	31	Připojení médií	Zleva	
Materiál vnějšího pláště	Lakovaný plech (RAL 9002)	Skutečný průtok vzduchu [m³/h]	2350	
• Vodní ohřivač XPNC 04/2R				
Tlaková ztráta [Pa]	64	Relativní vlhkost [%]	27	59
Dimenzovat na podmínky	Zima	Entalpie [kJ/kg]	35,28	54,42
Teplotní médium	Voda	Výstupní teplota média (skutečná) [°C]	32	
Vstupní teplota média [°C]	70	Topný výkon (skutečný) [kW]	6,3	
Výstupní teplota média (zadaná) [°C]	50	Průtok teplotního média [m³/h]	0,14	
Vstupní parametry vzduchu	Zima	Léto	Tlaková ztráta média [kPa]	0,4
Teplota [°C]	14,9	24,6	Počet řad	2
Relativní vlhkost [%]	45	59	Počet okruhů	1
Vstupní parametry vzduchu	Zima	Léto	Rozteč lamel [mm]	2,1
Teplota [°C]	22,9	24,6	Průměr připojení ["]	1

• Směšovací uzel SUMX 1 (1)

• Protimrazové čidlo NS 130 R

02.32 Sekce chladič, eliminátor	XPQU 04/F
--	------------------

Hmotnost (+/-10%) [kg]	53	Připojení médií	Zleva
Materiál vnějšího pláště	Lakovaný plech (RAL 9002)	Skutečný průtok vzduchu [m³/h]	2350
Servisní přístup	Zleva		
• Přímý výparník / kondenzátor XPNF 04/4RT			
Tlaková ztráta [Pa]	146	<u>Výkonové parametry</u>	
Provozovat v období	Léto	<u>Zima</u>	
Teplotní médium	Freon R407 C (Mix)	<u>Léto</u>	
Teplota vypařování [°C]	5	Výkon [kW]	8,5
		Množství kondenzátu [kg/h]	4,4
		Hmotnostní průtok média [kg/h]	200
<u>Vstupní parametry vzduchu</u>	<u>Zima</u>	<u>Léto</u>	
Teplota [°C]	22,9	Tlaková ztráta média [kPa]	7,5
Relativní vlhkost [%]	27	Počet řad	4
<u>Vstupní parametry vzduchu</u>	<u>Zima</u>	Počet okruhů	2 (dělení v poměru 1:1)
Teplota [°C]	22,9	Rozteč lamel [mm]	2,5
Relativní vlhkost [%]	27	Průměr připojení páry	16
Entalpie [kJ/kg]	35,28	Průměr připojení kondenzátu	12

• Eliminátor kapek XPNU 04

Tlaková ztráta [Pa]	30			
• Kapilární termostat CAP 2M_XP				
• Souprava pro odvod kondenzátu XPOD 300				

02.34 Sekce ventilátoru	XPAP 04/S
--------------------------------	------------------

Hmotnost (+/-10%) [kg]	72	Servisní přístup	Zleva
Materiál vnějšího pláště	Lakovaný plech (RAL 9002)	Skutečný průtok vzduchu [m³/h]	2350
• Panel čelní - výtlačk XPK 04/P			
Tlaková ztráta [Pa]	13		
• Montážní sada panelu XPK 04/P (MSR)			
• Ventilátor XPVP 250-0,75/64-J2 (E2)			

Tlakový zisk pro výpočet [Pa]	688	Napájecí napětí motoru	3NPE 400 V, 50 Hz																																												
Statický tlak [Pa]	688	Napájecí napětí regulátoru	1NPE 230 V, 50 Hz																																												
Výkon ventilátoru [kW]	0.63	Výkon motoru nom. [W]	750																																												
Účinnost [%]	77	Proud max. [A]	11.60																																												
Elektrický příkon [kW]	0.82	Pracovní teplota max. [°C]	40																																												
Rychlost v průřezu [m/s]	2.37	Počet pólů	2																																												
Dimenzovat na výkonový stupeň	5	Termokontakty	Ano																																												
Pracovní frekvence [Hz]	61	Třída účinnosti motoru	IE2																																												
Převod	Přímý																																														
• Regulator výkonu XPFM 0.75 (IP21) 1x230V																																															
02.23 Tlumič vložka		DV 500-450																																													
Hmotnost (+/-10%) [kg]	3	Tlaková ztráta [Pa]	0																																												
02.19 Tlumič vložka		DV 500-450																																													
Hmotnost (+/-10%) [kg]	3	Tlaková ztráta [Pa]	0																																												
02.18 Sekce filtru		XPHO 04/D																																													
Hmotnost (+/-10%) [kg]	57	Service přístup	Zprava																																												
Materiál vnějšího pláště	Lakovaný plech (RAL 9002)	Skutečný průtok vzduchu [m³/h]	2350																																												
• Panel čelní - vstup XPK 04/P																																															
Tlaková ztráta [Pa]	13																																														
• Montážní sada panelu XPK 04/P (MSR)																																															
• Filtrační vložka XPNH 04/5																																															
Tlaková ztráta pro výpočet [Pa]	122	Koncová tlaková ztráta [Pa]	200																																												
Počáteční tlaková ztráta [Pa]	45	Teplotní odolnost max. [°C]	80																																												
Typ filtru	Kapsový	Regenerovatelnost	Neregenerovatelný																																												
Třída filtrace	M5																																														
• Snímač tlakové difference P33 N (30 - 500 Pa)																																															
02.33 Sekce ventilátoru		XPAP 04/S																																													
Hmotnost (+/-10%) [kg]	68	Service přístup	Zprava																																												
Materiál vnějšího pláště	Lakovaný plech (RAL 9002)	Skutečný průtok vzduchu [m³/h]	2350																																												
• Ventilátor XPVP 250-0,75/64-J2 (IE2)																																															
Tlakový zisk pro výpočet [Pa]	451	Napájecí napětí motoru	3NPE 400 V, 50 Hz																																												
Statický tlak [Pa]	451	Napájecí napětí regulátoru	1NPE 230 V, 50 Hz																																												
Výkon ventilátoru [kW]	0.46	Výkon motoru nom. [W]	750																																												
Účinnost [%]	73	Proud max. [A]	11.60																																												
Elektrický příkon [kW]	0.59	Pracovní teplota max. [°C]	40																																												
Dimenzovat na výkonový stupeň	5	Počet pólů	2																																												
Pracovní frekvence [Hz]	56	Termokontakty	Ano																																												
Převod	Přímý	Třída účinnosti motoru	IE2																																												
• Regulator výkonu XPFM 0.75 (IP21) 1x230V																																															
02.29 Sekce prázdná		XPJP 04/S																																													
Hmotnost (+/-10%) [kg]	37	Skutečný průtok vzduchu [m³/h]	588																																												
Materiál vnějšího pláště	Lakovaný plech (RAL 9002)																																														
• Panel čelní - výstup XPK 04/P																																															
Tlaková ztráta [Pa]	1																																														
• Montážní sada panelu XPK 04/P (MSR)																																															
02.30 Klapka uzavírací		LK 500-450																																													
Hmotnost (+/-10%) [kg]	8	Tlaková ztráta [Pa]	0																																												
Skutečný průtok vzduchu [m³/h]	588	Plocha klapky [m²]	0.23																																												
• Servopohon LMC 24ASR																																															
02.31 Tlumič vložka		DV 500-450																																													
Hmotnost (+/-10%) [kg]	3	Tlaková ztráta [Pa]	0																																												
<table> <tr> <th colspan="2">Doplňky</th><th>Počet</th><th>Kód</th></tr> <tr> <td>02.XX</td><td>Spojovací sada</td><td>XPSM/S-0</td><td>1 ks XPSM0-S0</td></tr> <tr> <td>02.XX</td><td>Spojovací sada</td><td>XPSS 04/V</td><td>3 ks XPSS004-S-V</td></tr> <tr> <td>02.XX</td><td>Základový rám</td><td>XPR 04/1500-3</td><td>1 ks XPROS0415003P</td></tr> <tr> <td></td><td>pro sekci</td><td>02.34 XPAP 04/S</td><td></td></tr> <tr> <td></td><td>pro sekci</td><td>02.32 XPQU 04/F</td><td></td></tr> <tr> <td></td><td>pro sekci</td><td>02.20 XPTV 04</td><td></td></tr> <tr> <td>02.XX</td><td>Základový rám</td><td>XPR 04/1250-3</td><td>1 ks XPROS0412503P</td></tr> <tr> <td></td><td>pro sekci</td><td>02.01 XPMK 04/BP (SV - 60W - 43,5)</td><td></td></tr> <tr> <td>02.XX</td><td>Základový rám</td><td>XPR 04/500-3</td><td>1 ks XPROS0405003P</td></tr> <tr> <td></td><td>pro sekci</td><td>02.29 XPJP 04/S</td><td></td></tr> </table>				Doplňky		Počet	Kód	02.XX	Spojovací sada	XPSM/S-0	1 ks XPSM0-S0	02.XX	Spojovací sada	XPSS 04/V	3 ks XPSS004-S-V	02.XX	Základový rám	XPR 04/1500-3	1 ks XPROS0415003P		pro sekci	02.34 XPAP 04/S			pro sekci	02.32 XPQU 04/F			pro sekci	02.20 XPTV 04		02.XX	Základový rám	XPR 04/1250-3	1 ks XPROS0412503P		pro sekci	02.01 XPMK 04/BP (SV - 60W - 43,5)		02.XX	Základový rám	XPR 04/500-3	1 ks XPROS0405003P		pro sekci	02.29 XPJP 04/S	
Doplňky		Počet	Kód																																												
02.XX	Spojovací sada	XPSM/S-0	1 ks XPSM0-S0																																												
02.XX	Spojovací sada	XPSS 04/V	3 ks XPSS004-S-V																																												
02.XX	Základový rám	XPR 04/1500-3	1 ks XPROS0415003P																																												
	pro sekci	02.34 XPAP 04/S																																													
	pro sekci	02.32 XPQU 04/F																																													
	pro sekci	02.20 XPTV 04																																													
02.XX	Základový rám	XPR 04/1250-3	1 ks XPROS0412503P																																												
	pro sekci	02.01 XPMK 04/BP (SV - 60W - 43,5)																																													
02.XX	Základový rám	XPR 04/500-3	1 ks XPROS0405003P																																												
	pro sekci	02.29 XPJP 04/S																																													
Výrobní (přepravní) bloky sekci																																															

Blok sekci	156.8 kg
pro sekci	02.34 XPAP 04/S
pro sekci	02.32 XPQU 04/F
pro sekci	02.20 XPTV 04
Blok sekci	124.9 kg
pro sekci	02.33 XPAP 04/S
pro sekci	02.18 XPHO 04/D

3 VARIANTA 2 – VZT JEDNOTKA + MULTISPLIT SYSTÉM

V druhé variantě je navržena vzduchotechnická jednotka Cake od firmy Remak, která slouží pouze pro přívod požadovaného množství čerstvého větracího vzduchu. Jeho množství je dáno výměnou vzduchu stanovenou hygienickými limity. U squashových kurtů jsem ho určila podle počtu osob – viz tab. 4, tabulka místností. Vzduchotechnická jednotka tedy pokrývá tepelnou zátěž větráním a tepelnou ztrátu větráním. Pro ochlazování vzduchu v letním období je jednotka vybavena chladičem, který pracuje jako přímý výparník. Jako zdroj chladu je navržena kondenzační jednotka od firmy Mitsubishi electric MUZ-SF25VE o chladícím výkonu 0,9kW – 3,4kW.

Pro pokrytí zbývajících tepelných zisků v letním období a tepelných ztrát v zimním období jsem navrhla chladivový systém Multisplit od firmy Mitsubishi Electric. Jedná se o systém se třemi vnitřními jednotkami a jednou venkovní jednotkou. Pro každý kurt je navržena jedna vnitřní nástěnná jednotka, umístěná na zadní straně kurtu mezi dýzou pro přívod a mřížkou pro odvod vzduchu. Venkovní jednotka je umístěna na střeše a rozvod chladivového potrubí nepřesahuje maximální délku. Vnitřní jednotky bude nutné opatřit ochrannou konstrukcí z důvodu možného poškození při užívání squashových kurtů.

Kondenzační jednotka MUZ-SF25VE

Označení venkovní jednotky		MUZ-SF25VE
Chlazení	chladicí výkon (kW)	2,5 (0,9 - 3,4)
	příkon (kW)	0,60
	SEER	7,6
	třída energetické účinnosti	A++
	Oblast použití (°C)	-10~+46
Vytápění	topný výkon (kW)	3,2 (1,0 - 4,1)
	příkon (kW)	0,78
	COP / SCOP	4,4
	třída energetické účinnosti	A+
	Oblast použití (°C)	-15~+24

Označení venkovní jednotky		MUZ-SF25VE
Objemový průtok vzduchu (m³/h)		1866
Hladina akustického tlaku dB(A)	chlazení/topení	47 / 48
Rozměry (mm)	Š/H/V	800/285/550
Hmotnost (kg)		31
Údaje o chladivu		
Celková délka vedení (m)		20
Max. výškový rozdíl (m)		12
Typ chladiva / množství (kg) / max. množství (kg)		R410A / 0,70 / 1,09
GWP / ekvivalent CO₂ (t) / ekvivalent CO₂ max. (t)		2088 / 1,47 / 2,29
Množství předplněného chladiva pro (m)		7
Množství doplněného chladiva (g/m)		30
Průměr připojení chladiva Ø (mm)	kap.	6
	plyn	10

Vzduchotechnická jednotka:

REMAK

Název projektu

Squash

Technická specifikace zařízení

Číslo zařízení	Název zařízení	Určení jednotky	Strana
1	CAKE	Standardní prostředí	2

ID nabídky
Vypracoval
Projekt vytvořen:
Tisk:

OD107894
Tomáš Pich - REMAK a.s.
11.12.2017,16:46
14.12.2017,14:57

ID nabídky OD107894
 Projekt [OD107894] Squash
 Číslo / Název zařízení 1 / CAKE
 Určení jednotky Standardní prostředí



STRUČNÁ SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ

Základní parametry zařízení

Druh, rozměr	Cake VR-1
Typ řídicího systému	VCS (Climatix)
	Webové ovládání + mobilní aplikace pro OS Android
Hmotnost (+/-10%)	330 kg
Umístění jednotky	Vnitřní
Materiálové provedení	
Vnější plášť	Pozinkovaný plech
Vnitřní plášť	Pozinkovaný plech

	Přívod	Odvod
Průtok vzduchu	600 m³/h	600 m³/h
Externí tlaková rezerva	300 Pa	290 Pa
Rychlost v průřezu	1.22 m/s	1.22 m/s
Příkon ventilátorů	0.21 kW	0.20 kW
1. stupeň filtrace	F7	M5
2. stupeň filtrace	-	-
SFP ₁	1253 W.m⁻¹.s	1179 W.m⁻¹.s

Parametry pláště dle EN1886

Celkový příkon jednotky	0.40 kW	Mechanická stabilita	D1(M)
Napájecí napětí	1×230V+N+PE 50Hz	Netěsnost skříně	L1(M)
Celkový proud I _{max}	13 A	Termická izolace	T2(M)
		Faktor tepelných mostů	TB2(M)
SFP _{AKU}	2432 W.m⁻¹.s	Netěsnost mezi filtrem a rámem	< 0,5 % (F9)

Nejdůležitější parametry vybraných komponentů

	Na straně vzduchu	Na straně média
Zpětný zisk tepla	-12.0 → 17.7 °C	90 %
Ohřev	12.6 → 18.0 °C	1.1 kW
Chlazení	29.0 → 24.0 °C	1.1 kW
		70/50 °C, Voda, 0.6 kPa, 0.05 m³/h
		6 °C, Freon R410A (Mix), 3.0 kPa, 26 kg/h

Detailní specifikace a výsledné parametry jsou součástí detailní specifikace vzduchotechnického zařízení

Hlukové parametry zařízení

	LwA _{okt} * [dB]								LwA** [dB(A)]
Oktávové pásmo	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
Přívod - sání	56	58	61	62	61	59	56	48	68
Přívod - výtlak	56	60	67	67	70	71	64	56	76
Přívod - okolí	47	42	46	39	32	29	19	9	51
Odvod - sání	55	57	61	62	62	60	58	49	69
Odvod - výtlak	55	59	66	65	67	68	61	53	73
Odvod - okolí	46	41	45	38	32	28	18	8	50

* Hladiny akustického výkonu v oktávových pásmech

** Celková hladina akustického výkonu

ID nabídky OD107894
 Projekt [OD107894] Squash
 Číslo / Název zařízení 1 / CAKE
 Určení jednotky Standardní prostředí



EKODESIGN - POSOUZENÍ SHODY S ERP (2018)

INFORMACE O VĚTRACÍ JEDNOTCE DLE NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) Č. 1253/2014, ze dne 7. července 2014, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign větracích jednotek.

Zařízení je ve shodě s požadavky ErP 2018: Ano

* **	Požadovaná informace	Požadavek ErP 2018	Hodnota	Vyhovuje ErP 2018
Název zařízení: 1 - CAKE				
x x	a) Název výrobce	info	REMAK	
x x	b) Identifikační značka modelu	info	Cake VR-1	
x x	c) Deklarovaná typologie	info	NRVU / BVU ¹⁾	
x x	d) Typ pohonu	info a shoda typu	Proměnné otáčky ²⁾	Ano
x x	e) Typ systému zpětného získávání tepla	info a shoda typu	Jiný - RHE ³⁾	Ano
x	f) Tepelná účinnost systému ZZT	$\eta_{LHV, min} = 73 \%$	$\eta_{LHV} = 87,5 \%$	Ano
x x	g) Jmenovitý průtok větrací jednotky	info	$q_{nom} = 0,167 \text{ m}^3/\text{s}$	
x	h) Efektivní elektrický příkon	info	$P = 0,41 \text{ kW}$	
x	i) Vnitřní měrný příkon ventilátoru větracích součástí	$SFP_{int, int} = 1510 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}$	$SFP_{int} = 567 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}$	Ano
x	Přívodní ventilátor	bez požadavku	$SFP_{int, SUP, r} = 333 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}$	
x	Odtahový ventilátor	bez požadavku	$SFP_{int, DIA, r} = 234 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}$	
x x	j) Účinná nátoková rychlost při konstrukčním průtoku	info	$v = 1,22 \text{ m/s}$	
x x	k) Jmenovitý vnější tlak			
x x	Přívodní větev	info	$\Delta p_{k, ext, SUP} = 300 \text{ Pa}$	
x x	Odvodní větev	info	$\Delta p_{k, ext, DIA} = 290 \text{ Pa}$	
x	l) Vnitřní tlaková ztráta větracích součástí			
x	Přívodní větev	info	$\Delta p_{k, int, SUP} = 142 \text{ Pa}$	
x	Odvodní větev	info	$\Delta p_{k, int, DIA} = 101 \text{ Pa}$	
x	m) Vnitřní tlaková ztráta jiných než větracích součástí			
x	Přívodní větev	info	$\Delta p_{k, add, SUP} = 79 \text{ Pa}$	
x	Odvodní větev	info	$\Delta p_{k, add, DIA} = 103 \text{ Pa}$	
x	n) Statická účinnost ventilátorů			
x	Přívodní větev	$\eta_{fan, int} = 0 \%$	$\eta_{fan, SUP} = 42 \%$	Ano
x	Odvodní větev	$\eta_{fan, int} = 0 \%$	$\eta_{fan, DIA} = 42 \%$	Ano
x x	o) Deklarovaná maximální netěsnost skříně			
x x	Vnější netěsnost (podtlak/přetlak)	info	0,73 / 0,46 %	
x x	Vnitřní netěsnost přenesení	info	5 %	
x x	p) Energetická náročnost filtrů	info	-	
x x	q) Popis vizuálního upozornění na výměnu filtru	info	Ovladač řídící jednotky ⁴⁾	
x	r) Hladina akustického výkonu skříně			
x	Přívodní větev	info	$L_{WA, SUP} = 51 \text{ dB(A)}$	
x	Odvodní větev	info	$L_{WA, DIA} = 50 \text{ dB(A)}$	

* Skutečná jednotka

** Referenční jednotka

1) NRVU - Větrací jednotka pro jiné než obytné budovy

UVU - jednosměrná; BVU - obousměrná jednotka

2) aby bylo splněno, je nezbytně nutné provozovat ventilátory s regulátory výkonu!

3) RAC - rekuperace tepla pomocí glykolového okruhu

PHE - deskový rekuperátor

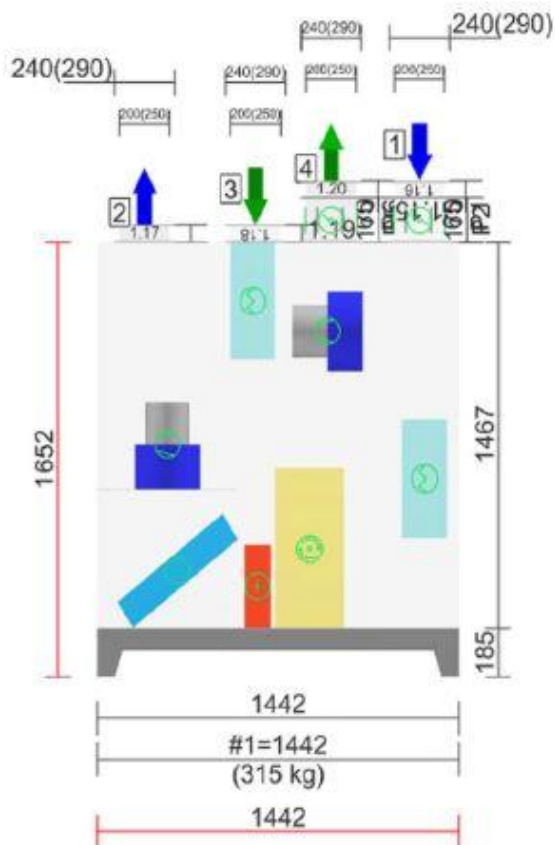
RHE - rotační regenerátor

4) Zanesené filtry větracích jednotek mají negativní vliv na výkon a energetickou účinnost jednotky. Jejich pravidelná výměna je proto velmi důležitá.

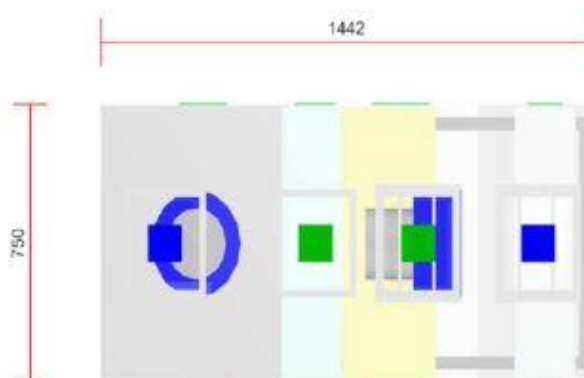
GRAFICKÉ POHLEDY

Bokorys servisní strany

Číslování větví: 1 - venkovní vzduch, 2 - přírodní vzduch, 3 - odtahový vzduch, 4 - odpadní vzduch, 5 - cirkulační vzduch



Půdorys jednotky



ID nabídky OD107894
 Projekt [OD107894] Squash
 Číslo / Název zařízení 1 / CAKE
 Určení jednotky Standardní prostředí



DETAILNÍ PARAMETRY ZAŘÍZENÍ

1.16 Tlumič vložka	Přívod	DVC 250-200
Kód	CTL0U-A0-00	
Nominální průtok vzduchu	600 m³/h	

1.15 Klapka	Přívod	LKC 250-200
Kód	CNK0U-02-00	
Nominální průtok vzduchu	600 m³/h	
Tlaková ztráta	10 Pa	
Plocha klapek	0.05 m²	
Počet servopohonů	1 ks	

Příslušenství vestavěné

- Servopohon LF 24, Kód: XPSESF24-, Počet: 1

1.01 Rotační rekuperátor	Přívod/Odvod	RHEX-200-1.6-545-H		
Kód			Zima	Léto
Nominální průtok vzduchu	600 / 600 m³/h	Teplota / Vlhkost - Přívod		
Tlaková ztráta	68 / 89 Pa	Vstup	-12.0 °C / 95 %	29.0 °C / 38 %
Rychlost v průřezu	1.4 / 1.8 m/s	Výstup	17.7 °C / 22 %	29.0 °C / 38 %
Typ výměníku	Al	Teplota / Vlhkost - Odvod		
Výška vlny / šířka rotoru	1,6	Vstup	21.0 °C / 45 %	28.0 °C / 65 %
Průměr vnější	545 mm	Výstup	-5.0 °C / 100 %	28.0 °C / 65 %
Motor				
Napájecí napětí	3NPE 230 V, 50 Hz	Teplotní účinnost	90 %	
Napájecí napětí regulátoru	1NPE 230 V, 50 Hz	Výkon		
		Celkový výkon	4.9 kW	
		Vázaný výkon	4.9 kW	

Příslušenství vestavěné

- Regulátor otáček XPFM 0.37 (IP21) 1x230V, Kód: XPFMIM031A20, Počet: 1
- Snímač namrzání TGL 100, Kód: 31E55010123, Počet: 1

1.01 Filtř na přívodu	Přívod	F-ODA-BAG-F7-585x235x380
Kód		
Materiál vnitřního pláště	Pozinkovaný plech	
Nominální průtok vzduchu	600 m³/h	
Tlaková ztráta	131 Pa	
Třída filtrace	F7	
Typ filtru	Kapsový	
Počáteční / Koncová tlaková ztráta	62 / 200 Pa	

Příslušenství vestavěné

- Snímač tlakové difference filtru P33 N (30 - 500 Pa), Kód: XPP33N, Počet: 1

1.01 Filtř na odvodu	Odvod	F-ETA-BAG-M5-585x235x380
Kód		
Materiál vnitřního pláště	Pozinkovaný plech	
Nominální průtok vzduchu	600 m³/h	
Tlaková ztráta	104 Pa	
Třída filtrace	M5	
Typ filtru	Kapsový	
Počáteční / Koncová tlaková ztráta	9 / 200 Pa	

Příslušenství vestavěné

- Snímač tlakové difference filtru P33 N (30 - 500 Pa), Kód: XPP33N, Počet: 1

ID nabídky OD107894
 Projekt [OD107894] Squash
 Číslo / Název zařízení 1 / CAKE
 Určení jednotky Standardní prostředí



1.01 Vodní ohřívač		Přívod	HCW-3-516x225/1R	
Kód			Zima	Léto
Nominální průtok vzduchu	600 m³/h	Teplota / Vlhkost		
Tlaková ztráta	7 Pa	Vstup	12.6 °C / 23 %	29.0 °C / 38 %
Rychlost v průřezu	1.4 m/s	Výstup	18.0 °C / 16 %	29.0 °C / 38 %
Teplonosné medium	Voda			
Počet řad	1	Teplotní spád	70 / 50 °C	
Počet okruhů	1			
Rozteč lamel	2.1 mm	Výkon	1.1 kW	
Materiál				
Materiál trubek	Cu	Teplonosné medium		
Materiál lamel	Al	Průtok	0.05 m³/h	
Připojení		Tlaková ztráta	0.6 kPa	
Průměr připojení	1/2" "			
Vodní obsah	0.42 l			
Typ	6.30.CU.10.AL.09.01.0516.21.W.X.X.001.009.R 1/2" L			

Příslušenství vestavěné

- Protimrazové čidlo NS 150A, Kód: 31E55010118, Počet: 1

Příslušenství nenamontované

- Směšovací uzel SUMX 1/EU (1), Kód: VSU0410B-, Počet: 1

1.01 Přímý výparník / kondenzátor		Přívod	CCDX-7-470x350/1R	
Kód			Zima	Léto
Nominální průtok vzduchu	600 m³/h	Teplota / Vlhkost		
Tlaková ztráta	4 Pa	Vstup	18.0 °C / 16 %	29.0 °C / 38 %
Suchá tlaková ztráta	3 Pa	Výstup	18.0 °C / 16 %	24.0 °C / 50 %
Rychlost v průřezu	1.0 m/s			
Teplonosné medium	Freon R410A (Mix)	Teplota vypařování	6 °C	
Počet řad	1			
Počet okruhů	1	Výkon	1.1 kW	
Rozteč lamel	2.5 mm	Množství kondenzátu	0.2 kg/h	
Materiál		Teplonosné medium		
Materiál trubek	Cu	Hmotnostní průtok	26 kg/h	
Materiál lamel	Al	Tlaková ztráta	3.0 kPa	
Připojení				
Průměr připojení	16 / 12 mm			
Vodní obsah	0.54 l			
Typ	6.30.CU.10.AL.14.01.0470.25.E.X.X.001.014.R 11.42/15.23 L			

Poznámka: Ventilátor je navržen na základě mokré tlakové ztráty výměníku.

Příslušenství vestavěné

- Kapilárový termostat CAP 2M_XP, Kód: XPNSCAP2, Počet: 1

ID nabídky OD107894
 Projekt [OD107894] Squash
 Číslo / Název zařízení 1 / CAKE
 Určení jednotky Standardní prostředí



1.01 Ventilátor na přívodu	Přívod	SUP-RH25C-6IK.BA.CR (114846)
Kód		
Nominální průtok vzduchu	600 m ³ /h	
Statický tlak	520 Pa	
Celkový tlak	525 Pa	
Externí tlaková ztráta	300 Pa	
Proud v pracovním bodě	0.91 A	
Otáčky ventilátoru (n)/(n _{max})	2398/3050 1/min	
Požadované otáčky v prac. bodě	79 %	
Účinnost – $\eta_{r,sys}$	42 %	
Účinnost – $\eta_{st,sys}$	42 %	
Elektrický příkon	0.21 kW	
Specifický výkon ventilátoru	1253 W.m ⁻³ .s	
Rychlost v průřezu	1.21 m/s	
Pracovní frekvence	50 Hz	
Typ ventilátoru	S volným oběžným kolem	
Typ	RH25C-6IK.BA.CR	
Zapojení ventilátoru	Samostatně	
Převod	Přímý	
K-faktor	60	
Max. rozsah čidla průtoku vzduchu	849 m ³ /h	
Motor		
Třída účinnosti motoru	EC-integrovaný regulátor	
Výkon motoru nom.	0.5 kW	
Jmenovitý proud	2.25 A	
Napájecí napětí motoru	1NPE 230 V, 50 Hz	
Jištění	EC kontrolér	

Poznámka: Ventilátor je navržen se zohledněním systémového efektu.

Příslušenství vestavěné

- Regulace na konstantní tlak/průtok CPG-P (příprava pro čidlo CPG), Kód: CPG03, Počet: 1

1.01 Ventilátor na odvodu	Odvod	EHA-RH25C-6IK.BA.CR (114846)
Kód		
Nominální průtok vzduchu	600 m ³ /h	
Statický tlak	494 Pa	
Celkový tlak	498 Pa	
Externí tlaková ztráta	290 Pa	
Proud v pracovním bodě	0.86 A	
Otáčky ventilátoru (n)/(n _{max})	2338/3050 1/min	
Požadované otáčky v prac. bodě	77 %	
Účinnost – $\eta_{r,sys}$	42 %	
Účinnost – $\eta_{st,sys}$	42 %	
Elektrický příkon	0.20 kW	
Specifický výkon ventilátoru	1179 W.m ⁻³ .s	
Rychlost v průřezu	1.21 m/s	
Pracovní frekvence	50 Hz	
Typ ventilátoru	S volným oběžným kolem	
Typ	RH25C-6IK.BA.CR	
Zapojení ventilátoru	Samostatně	
Převod	Přímý	
K-faktor	60	
Max. rozsah čidla průtoku vzduchu	849 m ³ /h	
Motor		
Třída účinnosti motoru	EC-integrovaný regulátor	
Výkon motoru nom.	0.5 kW	
Jmenovitý proud	2.25 A	
Napájecí napětí motoru	1NPE 230 V, 50 Hz	
Jištění	EC kontrolér	

ID nabídky OD107894
 Projekt [OD107894] Squash
 Číslo / Název zařízení 1 / CAKE
 Určení jednotky Standardní prostředí



Poznámka: Ventilátor je navržen se zohledněním systémového efektu.

Příslušenství vestavěné

- Regulace na konstantní tlak/průtok CPG-P (příprava pro čidlo CPG), Kód: CPG03, Počet: 1

1.17 Tlumič vložka	Přívod	DVC 250-200
Kód	CTL0U-A0-00	
Nominální průtok vzduchu	600 m³/h	
1.18 Tlumič vložka	Odvod	DVC 250-200
Kód	CTL0U-A0-00	
Nominální průtok vzduchu	600 m³/h	
1.19 Klapka	Odvod	LKC 250-200
Kód	CNK0U-02-00	
Nominální průtok vzduchu	600 m³/h	
Tlaková ztráta	10 Pa	
Plocha klapky	0.05 m²	
Počet servopohonů	1 ks	

Příslušenství vestavěné

- Servopohon LM 24A, Kód: XPSESL24-, Počet: 1

1.20 Tlumič vložka	Odvod	DVC 250-200
Kód	CTL0U-A0-00	
Nominální průtok vzduchu	600 m³/h	

Návrh chladivového systému Multisplit:

1. Chladicí výkon výparníku

$$Q_v = 7,9 \text{ kW}$$

2. Volba kondenzační teploty

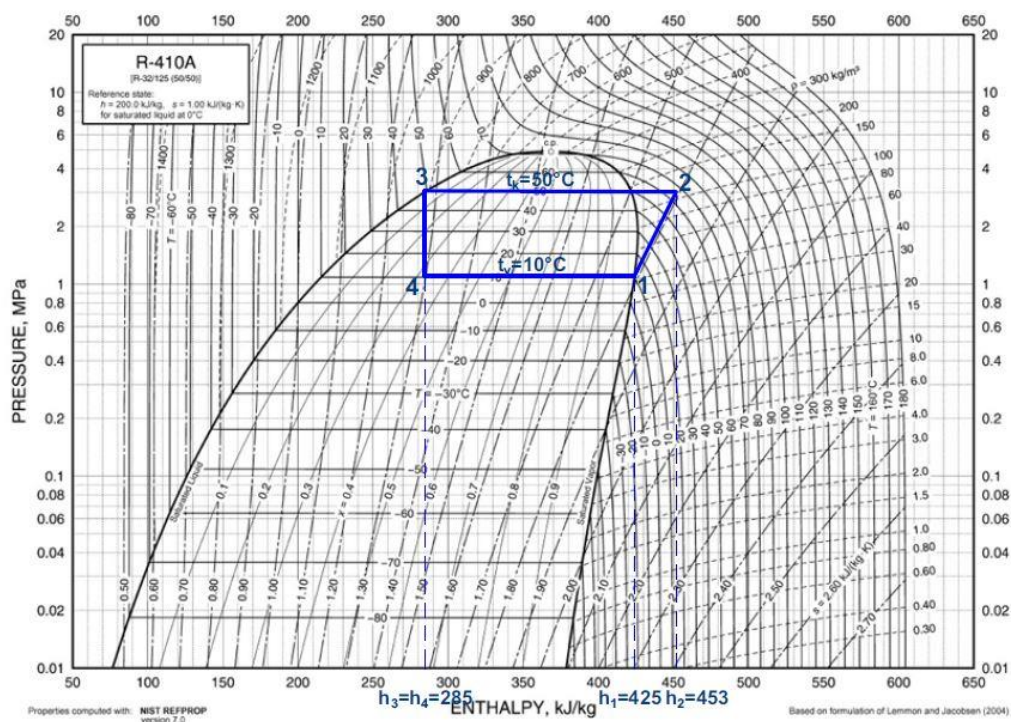
Volba kondenzační teploty byla stanovena s ohledem na venkovní návrhovou teplotu a na umístění kondenzátoru na střeše.

$$t_k = 50^\circ \text{C}$$

3. Volba vypařovací teploty

$$t_v = 10^\circ \text{C}$$

4. Sestavení p-h diagramu pro chladivo R410a



Obrázek 16: P-h diagram R410a

5. Průtok chladiva

$$m = \frac{Q_v}{(h_1 - h_3)} = \frac{7,9}{425 - 285} = 0,056 \text{ kg/s}$$

6. Výkon kondenzátoru

$$Q_k = m * (h_2 - h_3) = 0,056 * (453 - 285) = 9,4 \text{ kW}$$

7. Výkon výparníku

$$Q_v = m \cdot (h_1 - h_4) = 0,056 \cdot (425 - 285) = 7,8 \text{ kW}$$

8. Návrh systému

Je navržený systém Multisplit od firmy Mitsubishi Electric se třemi vnitřními jednotkami.

Venkovní jednotka MXZ-4E83VA:



Obrázek 17: MXZ-4E83VA

Označení venkovní jednotky		MXZ-4E83VA
Chlazení	chladicí výkon (kW)	8,3 (3,7 - 9,2)
	příkon (kW)	2,44
	SEER	6,3
	třída energetické účinnosti	A++
	Oblast použití (°C)	-10~+46
Vytápění	topný výkon (kW)	9,0 (3,4 - 11,6)
	příkon (kW)	2,00
	COP / SCOP	4,2
	třída energetické účinnosti	A+
	Oblast použití (°C)	-15~+24

Označení venkovní jednotky		MXZ-4E83VA
Objemový průtok vzduchu (m³/h)		2526
Hladina akustického tlaku dB(A)	chlazení/ topení	49 / 50
Rozměry (mm)	Š/H/V	950/330/796
Hmotnost (kg)		62
Připojitelné vnitřní jednotky (počet)		2 - 4
Údaje o chladivu		
Celková délka vedení (m)*		70
Max. výškový rozdíl (m)		15/10**
Množství chladiva (kg) / typ		2,99 / R410A
Množství předplněného chladiva pro (m)		25
Množství doplněného chladiva (g/m)		20
Průměr připojení chladiva Ø (mm)	kap.	4 x 6
	plyn	1 x 12 / 3 x 10

* 15 m, když je venkovní jednotka umístěna pod vnitřními jednotkami a 10 m v případě, když je venkovní jednotka umístěna nad vnitřními jednotkami.

Vnitřní jednotky MSZ-SF35:

Chlazení	chladič výkon (kW)	3,5 (1,1 - 3,8)
	příkon (kW)	1,08
	SEER	7,2
	třída energetické účinnosti	A++
	Oblast použití (°C)	-10~+46
Vytápění	topný výkon (kW)	4,0 (1,3 - 4,6)
	příkon (kW)	1,03
	COP / SCOP	4,4
	třída energetické účinnosti	A+
	Oblast použití (°C)	-15~+24

4 VYHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT

Varianta 1 – Vzduchotechnická jednotka s přímým výparníkem

Nevýhodou této varianty je velký objem přiváděného vzduchu, který vyplývá z tepelně technických vlastností vzduchu – malé tepelné kapacity. To souvisí s většími nároky na prostor pro VZT jednotku a s většími rozměry VZT potrubí.

Veškerá zařízení jsou umístěna ve strojovně VZT, což je velkou výhodou z hlediska šíření hluku do obsluhovaného prostoru. Navržení koncových elementů umožňuje lepší distribuci vzduchu v daném prostoru, lepší obraz a směr proudění vzduchu.

Varianta 2 – Vzduchotechnická jednotka + Multisplit systém

Výhodou tohoto systému jsou malé nároky na prostor. VZT jednotka i potrubí má menší rozměry vzhledem k tomu, že zajišťuje pouze výměnu vzduchu danou hygienickými limity.

U multisplitového systému je nevýhodou vedení chladiva v rámci daného prostoru a nutnost zajištění odvodu kondenzátu od vnitřních jednotek.

Vyhodnocení:

Pro squashové kurty bych volila spíše variantu 1. Množství vzduchu pro pokrytí veškerých tepelných zisků a ztrát není tak velké, takže i velikost VZT jednotky a rozměry potrubí jsou v daném prostoru přijatelné. Jedná se sice o centrální úpravu vzduchu, ale pro prostory squashových kurtů, které mají stejné požadavky na mikroklima vnitřního prostředí, je vyhovující. Decentrální, multisplitové, systémy bych spíše volila pro větší kancelářské budovy, kde jsou jednotlivé kanceláře orientovány na různé světové strany anebo pro prostory s jinými nároky na vnitřní prostředí.

5 TECHNICKÁ ZPRÁVA

OBSAH

1	ÚVOD	60
1.1	PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ.....	60
1.2	VÝPOČTOVÉ HODNOTY KLIMATICKÝCH POMĚRŮ	60
1.3	VÝPOČTOVÉ HODNOTY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ	60
1.4	VYPOČTENÁ TEPELNÁ BILANCE PRO LETNÍ A ZIMNÍ OBDOBÍ	61
2	ZÁKLADNÍ KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ.....	61
2.1	HYGIENICKÉ VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE	61
2.2	ENERGETICKÉ ZDROJE.....	61
3	POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ	62
3.1	KONCEPCE VĚTRACÍCH A KLIMATIZAČNÍCH ZAŘÍZENÍ.....	62
4	MĚŘENÍ A REGULACE	64
5	NÁROKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE	65
5.1	STAVEBNÍ ÚPRAVY	65
5.2	SILNOPROUD	65
5.3	VYTÁPĚNÍ A CHLAZENÍ	65
5.4	ZDRAVOTNÍ TECHNIKA.....	66
6	PROTIHLUKOVÉ A PROTIOTŘESOVÁ OPATŘENÍ.....	66
7	IZOLACE A NÁTĚRY.....	66
8	PROTIPOŽÁRNÍ OPATŘENÍ	66
9	MONTÁŽ, PROVOZ, ÚDRŽBA A OBSLUHA ZAŘÍZENÍ	67
10	ZÁVĚR.....	67

1 ÚVOD

Tato technická zpráva popisuje navrženou koncepci větrání a klimatizaci pro squashové kurty v rámci objektu sportovního centra v Pardubicích. Zařízení je navrženo tak, aby zajistilo předepsané hodnoty hygienické výměny vzduchu a požadované parametry vnitřního mikroklimatu.

1.1 Podklady pro zpracování

Podkladem pro zpracování byla výkresová dokumentace stavební části. Součástí podkladů jsou příslušné zákony a prováděcí vyhlášky, České technické normy a podklady výrobců vzduchotechnických zařízení.

- Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.
- Nařízení vlády č. 272/2011Sb., změna NV č. 217/2016 Sb. O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.
- Vyhláška č. 499/2006 Sb. O dokumentaci staveb ve změně 63/2012 Sb.
- ČSN EN 12831 – „Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu“
- ČSN 730548 – „Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů“
- ČSN 127010 – „Navrhování větracích a klimatizačních zařízení“
- ČSN 730872 – „Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízení“
- ČSN 730802 – „Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty“
- ČSN 013454 – „Výkresy vzduchotechnických zařízení“

1.2 Výpočtové hodnoty klimatických poměrů

místo stavby:	Pardubice
nadmořská výška:	237 m n. m.
normální tlak vzduchu:	95,23 kPa
výpočtová teplota vzduchu:	léto: +29°C, zima: -12°C, entalpie: léto 56,2 KJ/kg

1.3 Výpočtové hodnoty vnitřního prostředí

Zařízení je navrženo na parametry vnitřního prostředí uvedené souhrnně v následující tabulce.

místnost	Výsledná teplota (°C)		Relativní vlhkost (%)	
	zima	léto	zima	léto
squashové kurty	18	24	-	-

1.4 Vypočtená tepelná bilance pro letní a zimní období

- celková tepelná zátěž – $Q_L = 7,9\text{kW}$
- tepelná ztráta – $Q_Z = 3,8\text{kW}$

2 ZÁKLADNÍ KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

Pro squashové kurty jsou navrženy dvě varianty vzduchotechnických systémů. V obou variantách je uvažováno s úpravou teploty vzduchu v letním i v zimním období. Systémy jsou navrženy jako rovnotlaké s jednostupňovou filtrací venkovního a odváděného vzduchu třídy M5 u varianty 1, u varianty 2 na přívodu vzduchu třídu filtrace F7.

2.1 Hygienické větrání a klimatizace

Větrání je navrženo dle právních předpisů uvedených v bodě 1.1. Požadavek na minimální množství čerstvého vzduchu pro squashové kurty je stanovený na $100\text{ m}^3/\text{h}$ na osobu.

2.2 Energetické zdroje

Elektrická energie

- varianta 1 - soustava 3NPE, 50 Hz, 400V – požadavek pro pohon elektromotorů VZT, 1NPE, 50 Hz, 220 – 240 V – požadavek pro zdroje chladu
- varianta 2 – soustava 1NPE, 50Hz, 230V – požadavek pro pohon elektromotorů VZT, 1NPE, 50 Hz, 220 – 240 V – požadavek pro zdroje chladu

Tepelná energie

- centrální zdroj tepla (kotelna) – teplá voda 70/50°C

3 POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ

3.1 Koncepce větracích a klimatizačních zařízení

Varianta 1 – vzduchotechnická jednotka s přímým výparníkem

Pro celý systém je navržena vzduchotechnická jednotka AeroMaster XP 04 určená do vnitřního prostředí. Obsahuje směšování vzduchu a zpětné získávání tepla přes deskový rekuperátor. Jednotka je umístěna na základovém rámu v samostatné strojovně vzduchotechniky na střeše.

Jednotka pracuje v rovnotlakém režimu s celkovým množstvím vzduchu $V_p = V_o = 2350 \text{ m}^3/\text{h}$, z toho množství venkovního vzduchu $V_e = 600 \text{ m}^3/\text{h}$, cirkulačního $V_c = 1750 \text{ m}^3/\text{h}$.

Komponenty na přívodu vzduchu:

- tlumicí vložka
- klapka uzavírací
- kapsový filtr (M5)
- deskový rekuperátor s by-passem a integrovaným směšováním (účinnost: zima 59%, léto 55%, výkon: zima 3,4kW, léto 0,5kW)
- vodní ohřívač (topná voda 70/32°C, topný výkon 6,3kW)
- přímý výparník chlazení + eliminátor kapek (teplonosné medium – Freon R407C, chladicí výkon 8,5kW)
- ventilátor s volným oběžným kolem a přímým pohonem (elektrický příkon 0,82kW)
- tlumicí vložka

Komponenty na odvodu vzduchu:

- tlumicí vložka
- kapsový filtr (M5)
- ventilátor s volným oběžným kolem a přímým pohonem (elektrický příkon 0,59kW)
- klapka uzavírací
- tlumicí vložka

Čerstvý vzduch je nasáván přes protidešťovou žaluzii na fasádě a veden k VZT jednotce přes buňkové tlumiče hluku, kde je filtrován a teplotně upravován. Upravený vzduch je distribuován do prostoru squashových kurtů kruhovým SPIRO potrubím. Celé potrubí je přiznané.

Na přívodním potrubí je osazen kruhový tlumič hluku k dosažení požadovaných hladin akustického výkonu ve větraných prostorách. Vzduch je vyfukován přívodními elementy – dýzami s dalekým dosahem. V každém kurtu je umístěna jedna dýza. Do každé odbočky je vložena regulační klapka.

Odvod vzduchu je zajištěn třemi obdélníkovými vyústkami. Ke každému distribučnímu prvku je osazena regulační klapka. Vzduch je odváděn do strojovny kruhovým SPIRO potrubím přes kruhový tlumič hluku. Od jednotky je vzduch veden přes kruhový tlumič hluku a dále potrubím na střechu, kde je výfuk ukončen výfukovou hlavicí.

Systém větrání squashových kurtů je navržen jako rovnotlaký. Ovládání a regulaci zajišťuje profese MaR.

Varianta 2 – VZT jednotka + Multisplit systém

Pro squashové kurty je navržena vzduchotechnická jednotka CAKE od firmy Remak, která zajišťuje přívod požadovaného množství čerstvého vzduchu dle hygienických limitů a pokrývá tepelné zisky/ztráty větráním. Zbývající telené zisky/ztráty pokrývá systém přímého chlazení MultiSplit od firmy Mitsubishi Electric se třemi vnitřními jednotkami v nástěnném provedení. Venkovní jednotka systému přímého chlazení bude umístěna na střeše a bude propojena se třemi vnitřními jednotkami chladivovým potrubím s chladivem R410a.

VZT jednotka pracuje v rovnotlakém režimu s celkovým množstvím vzduchu $V_p = V_o = 600 \text{ m}^3/\text{h}$.

Komponenty VZT jednotky:

- tlumící vložka
- klapka uzavírací
- kompaktní jednotka
 - rotační rekuperátor (účinnost: zima 90%, výkon: zima 4,9kW)
 - kapsový filtr na přívodu (F7)
 - kapsový filtr na odvodu (M5)
 - vodní ohřívač (topná voda 70/50°C, topný výkon 1,1 kW)
 - přímý výparník (teplonosné médium – Freon R410A, chladicí výkon 1,1 kW)
 - ventilátor na přívodu s volným oběžným kolem a přímým pohonem (elektrický příkon 0,21 kW)
 - ventilátor na odvodu s volným oběžným kolem a přímým pohonem (elektrický příkon 0,2 kW)
- tlumící vložka
- tlumící vložka

- klapka uzavírací
- tlumící vložka

Čerstvý vzduch je nasáván přes protidešťovou žaluzii na fasádě a veden k VZT jednotce přes buňkové tlumiče hluku, kde je filtrován a teplotně upravován. Upravený vzduch je distribuován do prostoru squashových kurtů kruhovým SPIRO potrubím. Celé potrubí je přiznané.

Na přívodním potrubí je osazen kruhový tlumič hluku k dosažení požadovaných hladin akustického výkonu ve větraných prostorách. Vzduch je vyfukován přívodními elementy – dýzami s dalekým dosahem. V každém kurtu je umístěna jedna dýza. Do každé odbočky je vložena regulační klapka.

Odvod vzduchu je zajištěn třemi obdélníkovými výústkami. Ke každému distribučnímu prvku je osazena regulační klapka. Vzduch je odváděn do strojovny kruhovým SPIRO potrubím přes kruhový tlumič hluku. Od jednotky je vzduch veden přes kruhový tlumič hluku a dále potrubím na střechu, kde je výfuk ukončen výfukovou hlavicí.

V každém kurtu je umístěna vnitřní jednotka systému přímého chlazení, která upravuje teplotu vzduchu cirkulujícího v místnosti. Nástěnná jednotka je umístěna v ose zadní stěny mezi dýzou pro přívod vzduchu a obdélníkovou výústkou pro odvod vzduchu.

Systém větrání squashových kurtů je navržen jako rovnotlaký. Ovládání a regulaci zajišťuje profese MaR.

4 MĚŘENÍ A REGULACE

Navržené systémy VZT budou řízeny a regulovány samostatným systémem měření a regulace – profese MaR:

- ovládání chodu ventilátorů, silové napájení ovládaných zařízení
- regulace teploty vzduchu řízením výkonu přímého chladiče v letním období
- regulace teploty vzduchu řízením výkonu směšovacího uzlu teplovodního ohřívače
- umístění teplotních čidel podle požadavku
- protimrazová ochrana deskového výměníku nastavováním obtokové klapky
- optimální ovládání rekuperačního výměníku
- ovládání uzavíracích klapek na jednotce
- protimrazová ochrana teplovodního výměníku – měření na straně vzduchu i vody. Při poklesnutí teploty: 1) vypnutí ventilátoru, 2) uzavření klapky, 3) otevření třicestného ventilu, 4) spuštění čerpadla

- signalizace bezporuchového chodu ventilátorů pomocí diferenčního snímače tlaku
- plynulá regulace výkonu ventilátorů frekvenčními měniči na přívodu i odvodu vzhledem k zanášení filtrů a možnosti nastavení vzduchového výkonu zařízení podle potřeby provozu a časového rozvrhu
- snímání a signalizace zanesení filtrů
- poruchová signalizace
- snímání signalizace chodu, poruchy a zapnutí a vypnutí zdroje chladu

5 NÁROKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE

5.1 Stavební úpravy

- vyspádování podlahy a osazení dvou podlahových vpustí ve strojovně VZT
- provedení otvorů pro prostupy vzduchovodů
- obložení a dotěsnění prostupů VZT potrubí izolačními protiotřesovými hmotami v rámci zapravení
- zajištění přístupu k ventilátorům, filtrům a ostatním prvkům, které vyžadují pravidelný servis tak, aby byla možná údržba
- po montáži vertikálních prostupů střechou otvory oplechovat a opatřit izolací proti zatékání

5.2 Silnoproud

V rámci montáže silových rozvodů je nutno zajistit:

- motorické napojení v požadovaném příkonu u všech elektrospotřebičů, způsob napojení bude nutno přizpůsobit konkrétnímu výrobku

5.3 Vytápění a chlazení

- připojení směšovacího uzlu, ohříváče VZT jednotky na topnou vodu o teplotním spádu 70/50°C

Varianta 1:

Výroba chladu bude zajištěna pomocí 2 kondenzačních jednotek od firmy Mitsubishi Electric umístěných na střeše budovy. Dvouokruhový přímý výparník je součástí VZT jednotky

AeroMaster XP04 ve strojovně VZT a bude propojen s venkovními jednotkami chladivovým potrubím s chladivem R407C.

Varianta 2:

Výrobu chladu pro VZT jednotku, která pokrývá tepelné zisky/ztráty větráním, bude zajišťovat kondenzační jednotka od firmy Mitsubishi Electric umístěná na střeše budovy. Přímý výparník je součástí VZT jednotky Cake, která je umístěna ve strojovně VZT, a bude propojen s venkovní jednotkou chladivovým potrubím s chladivem R410A.

Pro pokrytí zbývajících tepelných zisků je navržen systém přímého chlazení Multisplit s jednou venkovní jednotkou umístěnou na střeše budovy. S vnitřními jednotkami je propojená chladivovým potrubím s chladivem R410A. V každém kurtu je osazena jedna nástěnná jednotka a bude nutné od každé jednotky zajistit odvod kondenzátu.

5.4 Zdravotní technika

- zajistit odvod kondenzátu od VZT jednotky s deskovým rekuperátorem a od vnitřních jednotek přímého chlazení přes sifon do kanalizace
- osazení podlahové vpusti ve strojovně VZT

6 PROTIHLUKOVÉ A PROTIOTŘESOVÁ OPATŘENÍ

Celý VZT systém je zabezpečený tak, aby svým provozem nepřekročil hygienické limity – do rozvodných tras potrubí jsou navrženy buňkové a kruhové tlumiče hluku typu Greif, které zabrání nadměrnému šíření hluku od ventilátorových jednotek do větraných prostor a do venkovního prostředí. Tyto tlumiče jsou navrženy jak v přívodních tak odvodních trasách.

Veškeré vzduchovody jsou napojeny na VZT jednotky přes tlumící vložky, které zabrání přenosu chvění do potrubí a do stavební konstrukce, na které jsou rozvody zavěšeny. Potrubí je na závěsech podloženo tlumící gumou.

7 IZOLACE A NÁTĚRY

Tepelnou izolací Orstech LSP H tl. 60 mm bude opatřeno veškeré potrubí ve strojovně VZT a ve venkovním prostředí, kde bude izolace oplechovaná. Přívodní potrubí bude opatřeno tepelnou izolací Orstech LSP H tl. 40 mm.

8 PROTIPOŽÁRNÍ OPATŘENÍ

Strojovna VZT vytváří samostatný PÚ. Na rozhraní požárních úseků jsou do VZT potrubí vloženy požární klapky s odolností odpovídající požadované požární odolnosti – určeno PBŘ. Klapky budou osazeny v souladu s technickými podmínkami výrobce klapky.

9 MONTÁŽ, PROVOZ, ÚDRŽBA A OBSLUHA ZAŘÍZENÍ

Realizaci díla může provádět pouze odborná firma a musí postupovat podle montážních návodů jednotlivých výrobců.

VZT zařízení musí být pravidelně kontrolována a čištěna v souladu s provozním řádem údržby.

10 ZÁVĚR

Navržená větrací a klimatizační zařízení splňují požadavky kladené na provoz budovy. Zajišťují v dané místnosti optimální pohodu vnitřního prostředí a zároveň hospodárnost provozu těchto zařízení.

Tabulka 5: Tabulka výkonů

	Ventilátor				Elektrina				Ohřev			Chlazení			
	přívod	odvod	otřikace	externí tlak	počet	účinnost rekuperace	zimní/letní	elektrický příkon jednotkový	elektrický příkon celkem	elektrický proud	napětí/frekvence	topný výkon 70/50°C	průtok média	tlaková ztráta výměníku	kondenzát
	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	Pa	ks	%		kW	kW	A	V/Hz	kW	m ³ /h	kPa	kg/h
Varianta 1															
Zařízení č.1															
Centrální jednotka AeroMaster XP 04															
přívodní ventilátor	2350		1750	300	1			0,82	0,82	11,6	3x400V, 50Hz				
deskový rekuprator						59/55									1,2
vodní ohřivač, t _p = 22,9°C												6,3	0,14	0,4	
přímé chlazení, t _p = 17,5°C															4,4
odvodní ventilátor		2350		290	1			0,59	0,59	11,6	3x400V, 50Hz				
Zařízení č.2															
Kondenzační jednotka PUHZ-ZRP35VKA								0,94	0,94	16	1x(220-240)V, 50Hz				
Varianta 2															
Zařízení č.1															
VZT jednotka Cake VR-1															
přívodní ventilátor	600			300	1			0,21	0,21	2,25	1x230V, 50Hz				
rotační rekuprator						90/-									
vodní ohřivač, t _p = 18°C												1,1	0,05	0,6	
přímé chlazení, t _p = 24°C															
odvodní ventilátor		600		290	1			0,2	0,2	2,25	1x230V, 50Hz				0,2
Zařízení č.2															
Kondenzační jednotka MUZ-SF25VE								0,6	0,6	10	1x(220-240)V, 50Hz				
Zařízení č.3															
Multisplitová venkovní jednotka MXZ-4E83VA								2,25	2,25	18	1x(220-240)V, 50Hz				

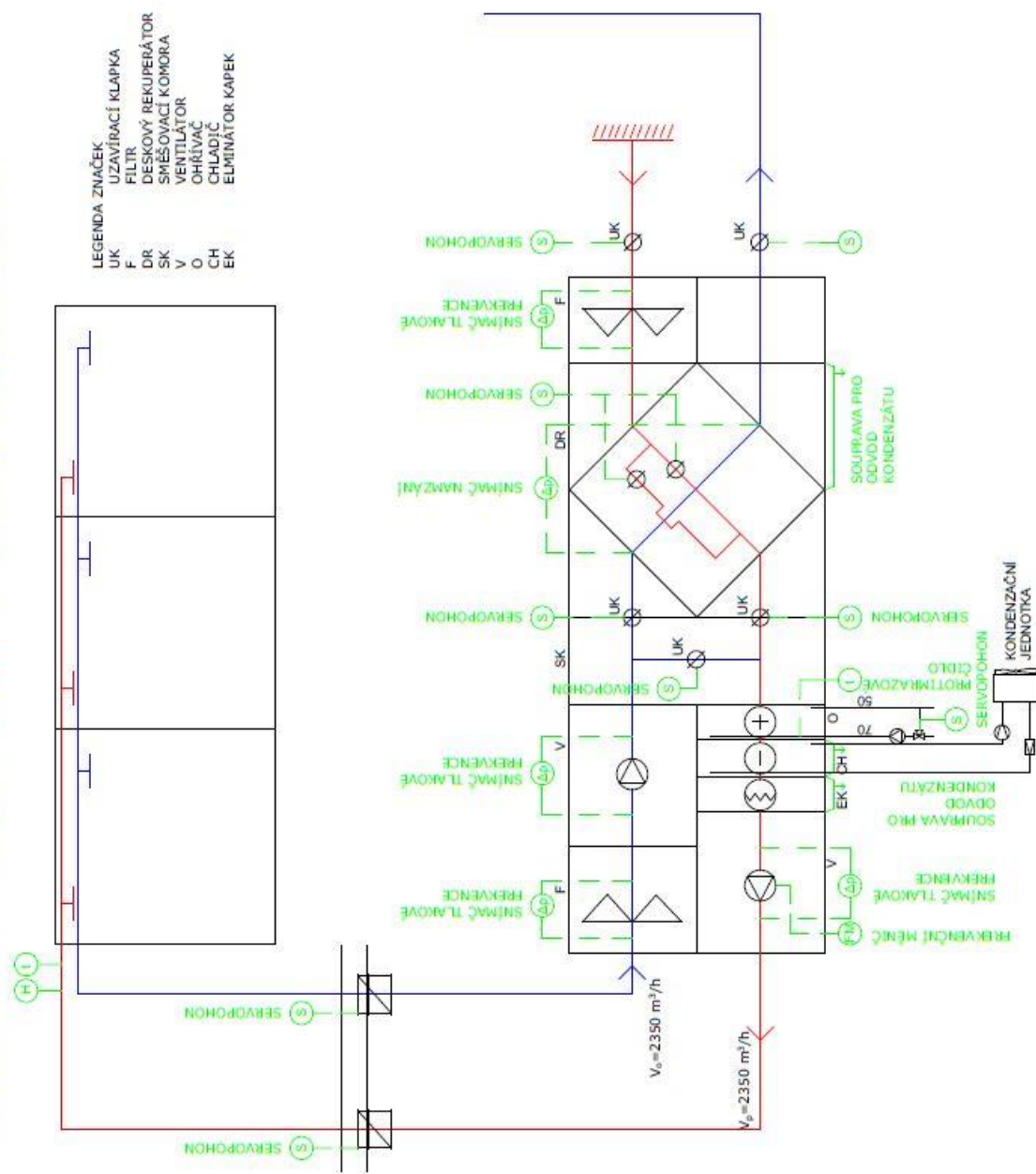
6 TECHNICKÁ SPECIFIKACE

Tabulka 6: Technická specifikace – Varianta 1

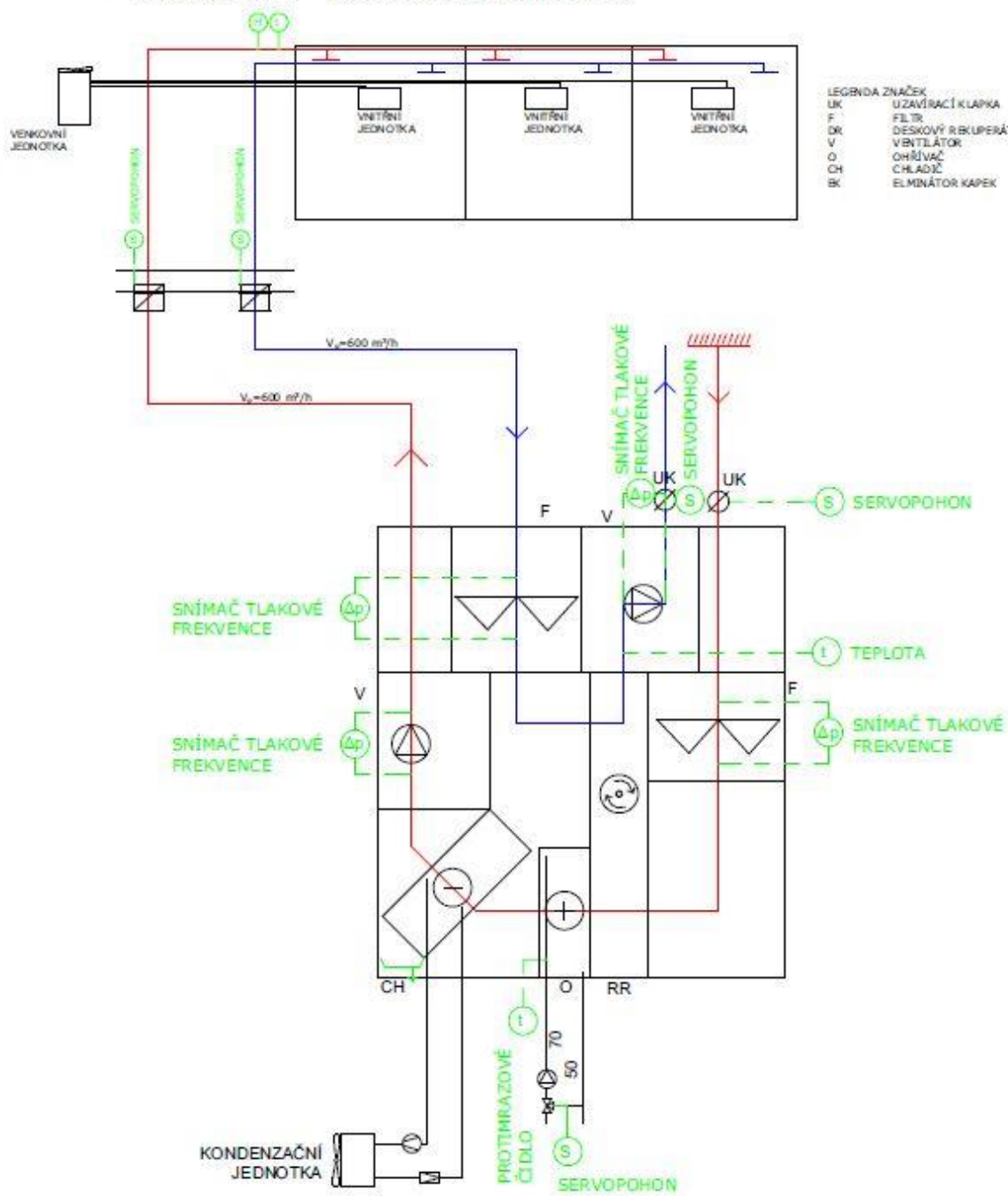
ozn.	popis	m.j.	počet	výrobce
Zařízení č.1				
1.1.1	Sestavná klimatizační jednotka AeroMaster XP 04	ks	1	Remak
1.2.1	Tlumič hluku buňkový G 200 x 500 x 1000	ks	2	Greif
1.2.2	Tlumič hluku kruhový GDE 400 x 1000	ks	3	Greif
1.3.1	Protidešťová žaluzie PŽA - K - II 630 x 630	ks	1	Proclima
1.3.2	Požární klapka PKTM III 400	ks	2	Mandík
1.3.3	Regulační klapka kruhová těsná RKKTM 315	ks	3	Mandík
1.3.4	Regulační klapka těsná RKTm 425 x 325	ks	3	Mandík
1.3.5	Výfuková hlavice DN 400	ks	1	Proclima
1.3.6	Dýza s dalekým dosahem DUK-V-R-E1/315 x 500	ks	3	Trox
1.3.7	Obdélníková výúst TR-AG 425 x 325	ks	3	Trox
1.4	Čtyřhranné potrubí do obvodu			
1.4.1	2630/60% tvar.dílů	bm	1	
1.4.2	1890/70% tvar.dílů	bm	2	
1.4.3	1500/90% tvar.dílů	bm	2	
1.5	Potrubí Spiro do průměru:			
1.5.1	400/30% tvar.dílů	bm	25	
1.5.2	355/10% tvar.dílů	bm	13	
1.5.3	315/10% tvar.dílů	bm	12	
1.6	Ohebné potrubí:			
1.6.1	Ohebná hadice Sonoflex MO 315	bm	3	Elektrodesign
1.7	Izolace			
1.7.1	Tepelná izolace Orstech LSP H, tl. 60 mm	m ²	22	Isover
1.7.2	Tepelná izolace Orstech LSP H, tl. 30 mm	m ²	21	Isover
Zařízení č.2				
2.1.1	Kondenzační jednoka PUHZ-ZRP35VKA	ks	2	Mitsubishi Electric
2.2	Chladivové potrubí			
2.2.1	Chladivové potrubí Cu 6/12	bm	30	

7 REGULAČNÍ SCHÉMA

VARIANTA 1 - VZT JEDNOTKA S PŘÍMÝM VÝPARNÍKEM



VARIANTA 2 - MULTISPLIT SYSTÉM





VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

ČÁST C - EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

CHLAZENÍ VE VZDUCHOTECHNICE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tereza Vacková

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ RUBINA, Ph.D.

BRNO 2018

C EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

1 CÍLE EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

Tato část se zabývá návrhem, postupem a následným vyhodnocením experimentu, který byl prováděn na jednotce split firmy Mitsubishi Electric umístěné v laboratoři TZB. Měření probíhalo v jarním, letním a podzimním období, kdy byla jednotka přímého chlazení zapnuta v režimu chlazení. Součástí je i popis přístrojové techniky.

Cílem experimentálního řešení v diplomové práci je naměření potřebných fyzikálních veličin pro následné stanovení obtokového součinitele instalovaného přímého chlazení pomocí daných fyzikálních vztahů. A na základě takto určeného obtokového součinitele graficky vyjádřit jeho závislost na chladícím výkonu zařízení.

2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

V této kapitole jsou popsány jednotlivé fáze měření od počátečního návrhu až po vyhodnocení finálních výsledků.

2.1 Postup experimentálního měření

2.1.1 Definice dané problematiky a určení měřených fyzikálních veličin

Pro návrh postupu měření bylo nutné pochopit práci chladicího stroje (Carnotův cyklus), definovat si fyzikální vztahy potřebné pro výpočet obtokového součinitele jednotky a na jejich základě stanovit fyzikální veličiny, které bylo nutné naměřit.

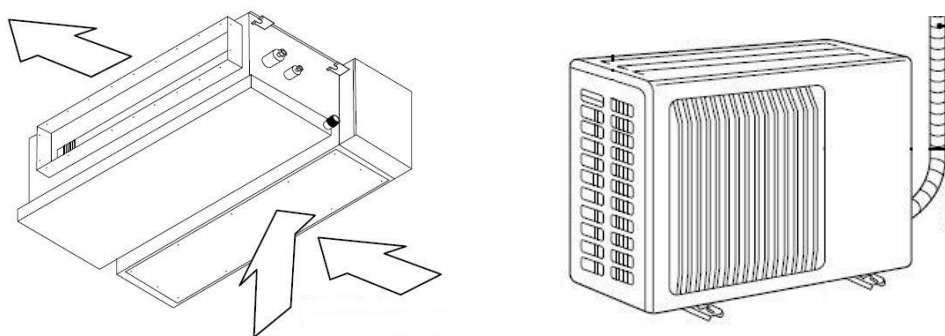
2.1.2 Předmět experimentu

Předmětem experimentu byl fyzický model vzduchotechnické jednotky umístěné v laboratoři TZB. Jedná se o jednotku split Mr. Slim od firmy Mitsubishi Electric. Tento systém je označován jako dílčí systém klimatizace, protože nezajišťuje úpravu veškerých parametrů jako u úplných klimatizačních systémů. Systém funguje jako přímé chlazení – pracovní látka odebírá teplo chlazené látky přímo. Výhodou tohoto systému jsou nižší investiční a provozní náklady a vyšší účinnost v porovnání se systémy nepřímého chlazení. Tato jednotka umožňuje režim chlazení v letním období, režim odvlhčování a režim topení pro zimní období.



Obrázek 18: Vnitřní jednotka v laboratoři TZB

Vnitřní jednotka SEH-2AR.TH je instalována v podstropním provedení s horizontálním výfukem vzduchu a slouží pro cirkulaci vnitřního vzduchu a úpravu vzduchu v místnosti. Obsahuje jeden výměník, ventilátor a vzduchový filtr. Funkce výměníku (kondenzátor, výparník) se mění v závislosti na vybraném režimu. Venkovní jednotka SUH-2VR₂.TH je umístěna na střeše budovy E fakulty stavební a pracuje jako kondenzační jednotka chlazená vzduchem. Její součástí je výměník (kondenzátor, výparník), ventilátor, kompresor, expanzní zařízení a čtyřcestný přepínací ventil, který umožňuje funkci jednotky pro chlazení či ohřev vzduchu.



Obrázek 19: Vnitřní a venkovní jednotka

Jednotky jsou propojené izolovaným chladivovým potrubím. Místo chladiva R22 je použita jeho ekologická náhrada a to vícesložkové chladivo R417a. Odvod kondenzátu je zajištěn pomocí potrubí.

Systém je ovladatelný pomocí dálkového elektronického ovladače, kde lze volit režim chlazení/topení, rychlost otáček ventilátoru a nastavit požadovanou teplotu vzduchu v místnosti. [8]

Tabulka 7: Tabulka základních parametrů VZT jednotky

Tabulka základních parametrů v režimu chlazení	
tepelný výkon	5,3 – 5,4 kW
celkový příkon	2,27 – 2,33 kW

Objemový průtok vzduchu	1020 m ³ /h
Hladina akustického tlaku	
vnitřní jednotka (nízké otáčky)	31 dB
vnitřní jednotka (vysoké otáčky)	39 dB
venkovní jednotka	59 dB

Z důvodu nenulové hodnoty ODP chladiva R22 (Ozone Depleting Potential), tedy potenciálu vyčerpávání ozónu, je v chladícím okruhu použito chladivo R417a jako jeho ekologická náhrada. Toto chladivo je tříložková zeotropní směs halogenovaných uhlovodíků a lze ho používat jak při proceduře drop in, tak i retrofit. R417a je schopno pracovat s minerálními oleji, a tak je možné ho využívat v systémech s kapilárou a tryskou, ale i s expanzním ventilem.

Složení chladiva R417a:

- R134a (tetrafluorethan) – 50%
- R125 (pentafluorethan) – 46,6%
- R600 (isobutan) – 3,4%

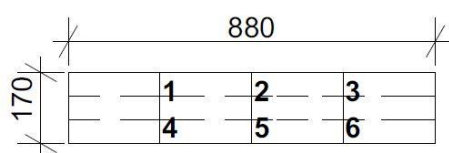
Tabulka 8: Vlastnosti chladiva R417a

Vlastnosti chladiva R417a	
vzhled	bezbarvý plyn
skupenství	plyn
barva	bezbarvý
zápach	po etheru
OPD	0
GWP	1950
hodnota pH	7
teplota varu	- 39 °C
kritická teplota	87,1 °C
kritický tlak	4039 kPa
kritická hustota	520 kg/m ³
teplotní skluz	7K

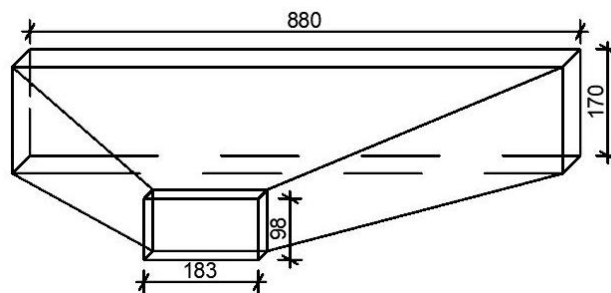
2.1.3 Návrh provedení měření a měřící techniky

Pro stanovení obtokového součinitele zařízení bylo potřeba naměřit povrchovou teplotu chladiče, teplotu a relativní vlhkost vzduchu na vstupu do jednotky (interiéru), teplotu vzduchu vystupujícího z jednotky a množství vzniklého kondenzátu v průběhu měření. Jedno z čidel zaznamenávalo také teplotu exteriéru. Pro stanovení chladicího výkonu bylo nutné znát průtok vzduchu jednotkou a po jeho určení jsem musela naměřit rychlost vzduchu vystupujícího z jednotky.

Povrchová teplota chladiče byla určena jako průměrná hodnota z 6 čidel umístěných na povrchu chladiče – obr. 20. Teplota vzduchu na vstupu do jednotky byla snímána pomocí dalšího čidla a zároveň černé skříňky, která měřila i relativní vlhkost vzduchu. Teplotu na výstupu z jednotky snímalo poslední čidlo. Všechna čidla byla zapojena do ústředny, která ukládala všechna měřená data. Pro přesnější naměření teploty na výstupu z jednotky a rychlosti proudění vzduchu jsem vyrobila nástavec, který zmenšoval plochu na výstupu obr. 21.



Obrázek 20: Rozmístění čidel pro měření povrchové teploty



Obrázek 21: Nástavec vyrobený pro zmenšení výstupní plochy



Obrázek 22: Vnitřní jednotka s nástavcem v laboratoři TZB

2.2 Použitá měřicí technika

2.2.1 Měřicí ústředna ALMEMO 3290-8

Ústředna ALMEMO 3290-8 je univerzální měřicí přístroj a lze ho použít pro měření fyzikálních veličin s programovatelnými konektory. Měřicí přístroj je založen na kombinaci mikroprocesorem řízeného indikačního přístroje o vysoké rozlišovací schopnosti s inteligentními Almemo-konektory. Konektory mají paměť, do které se ukládají parametry snímače (např. označení čidla či jeho měřicí rozsah). Díky těmto konektorům je možné připojit k ústředně různá čidla. Jejich parametry si měřicí přístroj přečte z paměti konektorů a automaticky si nastaví potřebné funkce. V průběhu měření jsou veškerá data zobrazena na LCD displeji, ukládána do paměti a jejich stažení do počítače pro následné zpracování lze provést pomocí příslušného datakabelu. Ústředna ALMEMO 3290-8 má celkem 9 vstupů (M0-M8) a 2 výstupy.



Obrázek 23: Ústředna ALMEMO 3290-8



Obrázek 24: Převod naměřených dat do PC

2.2.2 Termočláňkové dráty

V průběhu měření byla nejdůležitější měřenou veličinou teplota vzduchu, která byla snímána na 9 místech pomocí 9 čidel. Čidla byla rozmístěna na vnitřní jednotce, v místnosti a jedno čidlo bylo instalováno v exteriéru. K jednotlivým konstrukcím byla čidla připevněna pomocí lepicí pásky. Pro měření byly použity termočláňkové dráty typu K (NiCr-Ni) s inteligentními konektory.



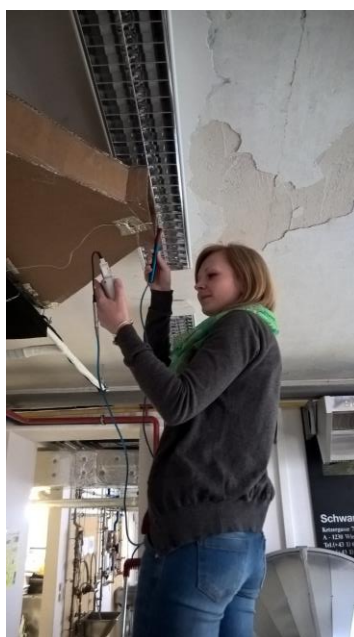
Obrázek 25: Termočláňkové dráty

2.2.3 Vrtulkový anemometr

Pro měření rychlosti vzduchu jsem použila digitální vrtulkový anemometr FVAD 15 S220. Jeho použití je nezávislé na parametrech prostředí – tlak, teplota, hustota, vlhkost vzduchu.

Tabulka 9: Technické parametry vrtulkového anemometru

Technické parametry	
provozní teplota	-20 až +140°C
měřicí rozsah	0,6 až 20 m/s
max rozlišení	0,01 m/s
přesnost	+/-1% z rozsahu +/-3% z měřené hodnoty
průměr sondy	15 mm
průměr otvoru pro	15 mm
kabel 1,5 m s ALMEMO-konektorem	



Obrázek 26: Měření rychlosti vzduchu pomocí vrtulkového anemometru

2.2.4 Termoanemometrické čidlo

Rychlost vzduchu jsem zároveň měřila i pomocí digitálního termoanemometrického čidla (žárového anemometru) FVA935-TH5K2. [9]

Tabulka 10: Technické parametry žárového anemometru

Technické parametry	
provozní teplota	-20 až +70°C
měřicí rozsah	0,2 až 20 m/s
max rozlišení	0,01m/s
přesnost	+-(0,04 m/s +1% z měř. hodnot)
průměr sondy	6 mm
délka	210 mm
držák a kabel 1,5 m	



Obrázek 27: Temoanemometrické čidlo

2.2.5 Datalogger COMET S3120

Pro měření relativní vlhkosti a teploty na vstupu do VZT jednotky byl použit datalogger COMET S3120. Záznam se provádí do energeticky nezávislé elektronické paměti a lze ho kdykoli exportovat do PC pomocí rozhraní USB. [10]

Tabulka 11: Technické parametry dataloggeru

Technické parametry	
měřená veličina	teplota a relativní vlhkost
rozsah teploty	-30 až 70°C
přesnost měření teploty vnitřním čidlem	+0,4°C
přesnost měření vlhkosti vzduchu	+2,5% RH od 5 do 95% při 23°C
rozlišení údaje o teplotě a vlhkosti	0,1°C, 0,1% RH
Interval záznamu	nastavitelný od 10s do 24h



Obrázek 28: Datalogger COMET S3120

2.3 Zpracování naměřených dat

2.3.1 Měření rychlosti

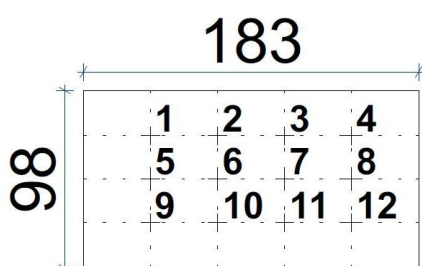
Pro stanovení množství průtoku vzduchu jsem provedla měření rychlosti vzduchu pomocí vrtulkového a žárového anemometru v 12 bodech na ploše výstupu.

Tabulka 12: Měření rychlosti vzduchu

body	žárový	vrtulkový
	v [m/s]	v [m/s]
1	8,34	8
2	8,65	8,1
3	8,3	8,09
4	8,1	8,15
5	7,95	7,75
6	8,1	8
7	7,8	7,8
8	7,7	7,7
9	7,65	7,9
10	7,55	7,92
11	7,65	7,56
12	7,95	7,99
průměr	7,98	7,91
celkový průměr		7,95

Tabulka 13: Výpočet průtoku vzduchu

rozměry	98x183	mm ²
plocha	17934	mm ²
v	513,00	m ³ /h



Obrázek 30: Rozdělení průřezu pro měření rychlosti vzduchu



Obrázek 29: Měření velikosti výstupní plochy

2.3.2 Měření 21. 7. 2016

V průběhu všech měření mi pouze při tomto měření vznikl kondenzát a zpracování naměřených dat proběhlo s uvažováním právě vzniklého kondenzátu, kde bylo nutné brát v úvahu nejen teplo citelné ale i teplo vázané. Obtokový součinitel chladiče F a výkon Q byl stanoven pomocí entalpií vzduchu.

Postup zpracování mokrého chlazení:

1. Stanovení entalpie vzduchu na vstupu do VZT jednotky h_i

- tlak syté vodní páry $p_{d'',i}$

$$p_{d'',i} = e^{(23,58 - \frac{4044,6}{235,6 + t_i})} \quad [Pa]$$

kde t_i – teplota interiéru [°C]

- parciální tlak vodní páry $p_{d,i}$

$$p_{d,i} = \varphi_i * \frac{p_{d'',i}}{100} \quad [Pa]$$

kde φ_i – relativní vlhkost interiéru [%]

- měrná vlhkost vzduchu x_i

$$x_i = 0,622 * \frac{p_{d,i}}{p - p_{d,i}} \quad [kg/kg]$$

- entalpie vzduchu h_i

$$h_i = 1,01 * t_i + (2500 + 1,872 * t_i) * x_i \quad [kJ/kg]$$

2. Stanovení entalpie vzduchu na povrchu chladiče h_s

- povrchová teplota chladiče t_s – určená jako průměr naměřených teplot na povrchu chladiče, s případným vyloučením špatných výsledků.
- tlak syté vodní páry $p_{d'',s}$

$$p_{d'',s} = e^{(23,58 - \frac{4044,6}{235,6 + t_s})} \quad [Pa]$$

kde t_s – povrchová teplota chladiče [°C]

- parciální tlak vodní páry $p_{d,s}$

$$p_{d,s} = \varphi_s * \frac{p_{d'',s}}{100} \quad [Pa]$$

kde φ_s – relativní vlhkost povrchové teploty chladiče [%]

- měrná vlhkost vzduchu x_s

$$x_s = 0,622 * \frac{p_{d,s}}{p - p_{d,s}} \quad [kg/kg]$$

- entalpie vzduchu h_s

$$h_s = 1,01 * t_s + (2500 + 1,872 * t_s) * x_s \quad [kJ/kg]$$

3. Stanovení entalpie vzduchu na výstupu z VZT jednotky h_p

- směrové měřítko δ

$$\delta = \frac{\Delta h}{\Delta x} \quad [-]$$

kde Δh – rozdíl entalpií h_i a h_s
 Δx – rozdíl měrných vlhkostí x_i a x_s

- měrná vlhkost vzduchu x_p

$$x_p = \frac{h_i - 1,01 * t_p - x_i * \delta}{2500 + 1,872 * t_p - \delta} \quad [kg/kg]$$

kde t_p – teplota vzduchu vystupujícího z jednotky $[^{\circ}C]$

- entalpie vzduchu h_p

$$h_p = 1,01 * t_p + (2500 + 1,872 * t_p) * x_p \quad [kJ/kg]$$

4. Stanovení obtokového součinitele

$$F = \frac{h_p - h_s}{h_i - h_s} \quad [-]$$

5. Výpočet výkonu VZT jednotky Q

$$Q = V * \rho * (h_i - h_p) \quad [kW]$$

kde V – průtok vzduchu $[m^3/s]$

ρ – hustota vzduchu $[kg/m^3]$

Zpracované výsledky:

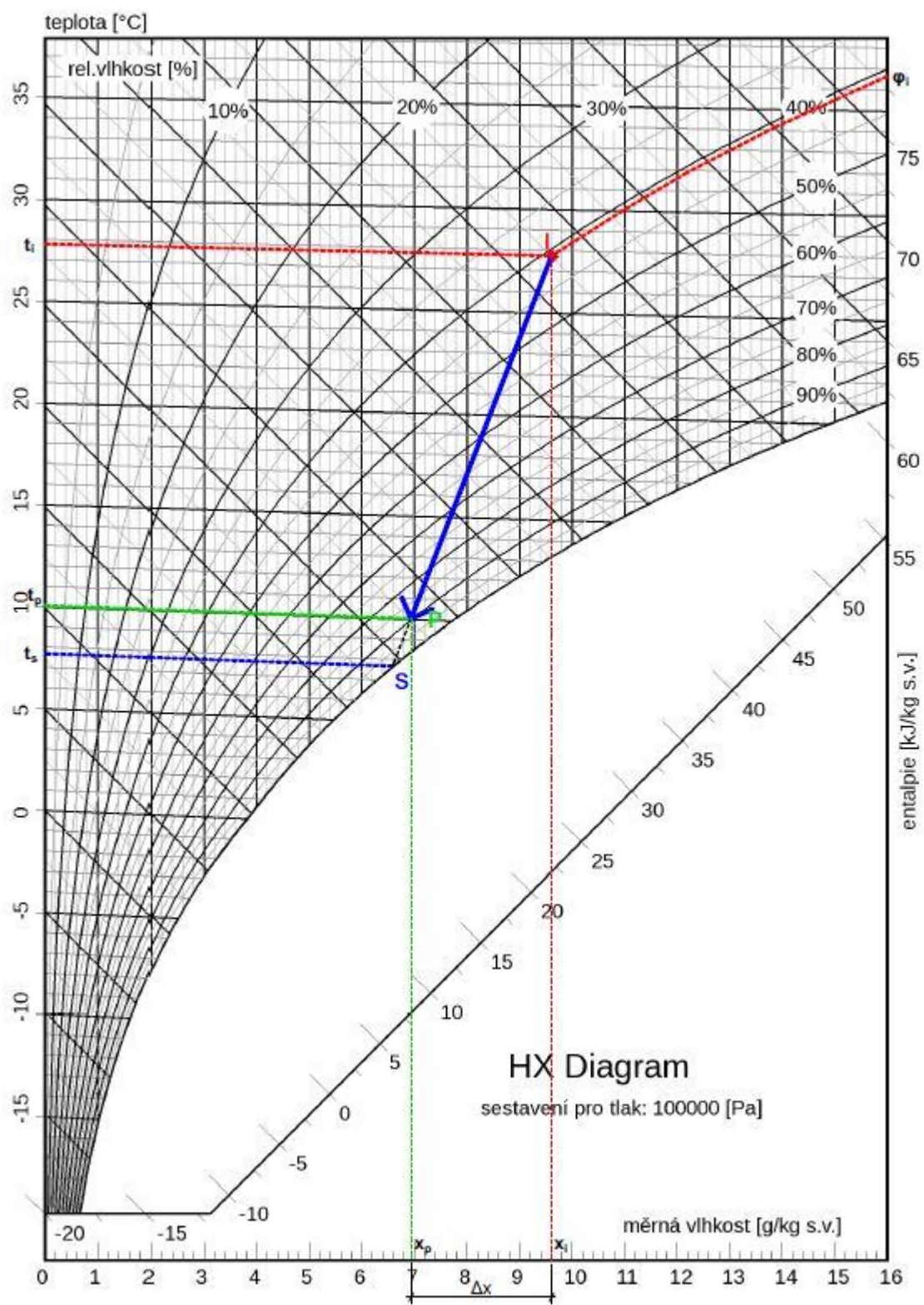
- viz příloha – Tabulka č.1 – Měření 21.7.2016

Ověření množství vzniklého kondenzátu:

Na konci měření bylo zváženo množství kondenzátu, které jsem porovnávala s vypočítaným množstvím kondenzátu.

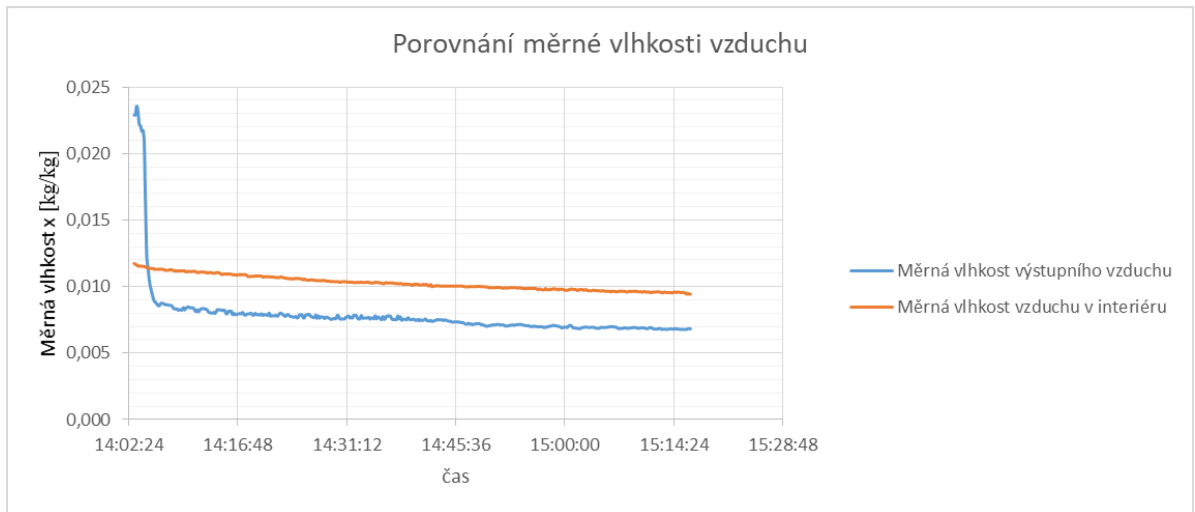
- zvážené množství kondenzátu – 305g/měření

Pro stanovení skutečného času, kdy docházelo ke tvorbě kondenzátu, jsem porovnávala měrné vlhkosti vzduchu interiéru x_i a vzduchu vystupujícího z VZT jednotky x_p .



Obrázek 31: Hx diagram

1. Porovnání x_i a x_p a zjištění počtu intervalů, ve kterých docházelo ke kondenzaci



Graf 1: Porovnání měrných vlhkostí vzduchu

2. Výpočet toku vodní páry

$$M_w = V * \rho * \Delta x \quad [g/s]$$

3. Výpočet hmotnosti kondenzátu

$$m_{k,vyp} = M_w * t \quad [g]$$

4. Porovnání hmotnosti zváženého kondenzátu a hmotnosti kondenzátu určeného výpočtem

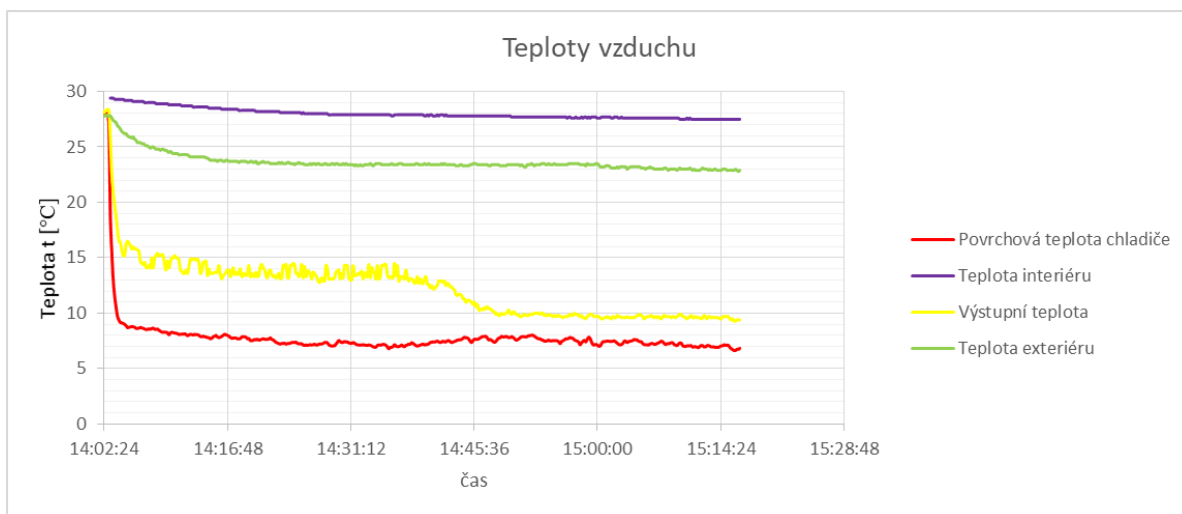
$$m_{k,vyp} = 206,54g$$

$$m_{k,vaz} = 305g$$

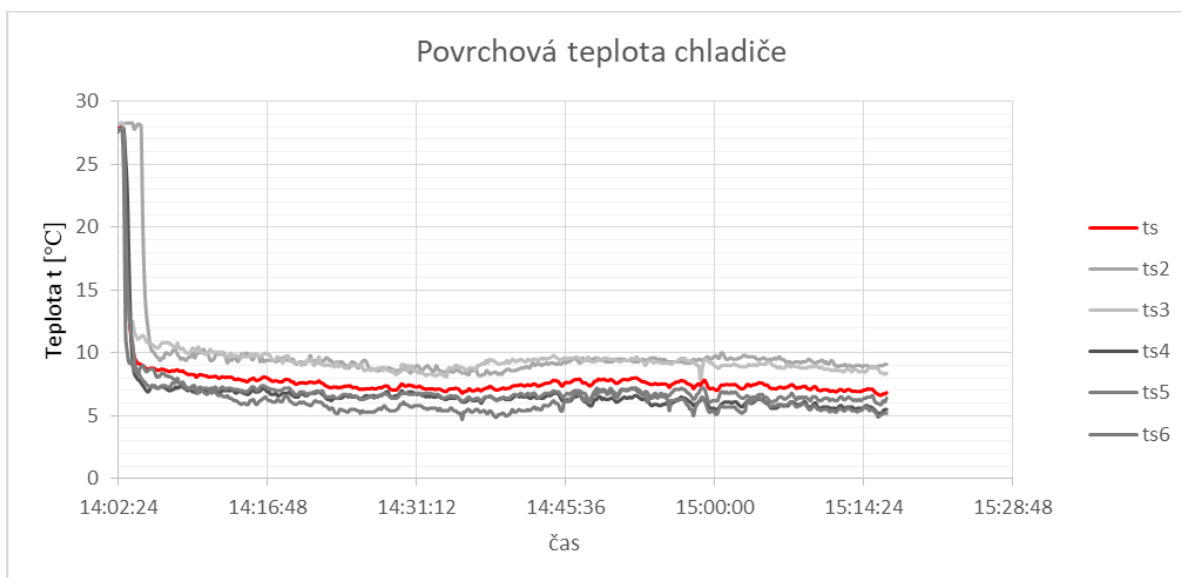
Výpočet:

- viz příloha – Tabulka č.2 – Ověření množství kondenzátu

Grafické zobrazení:

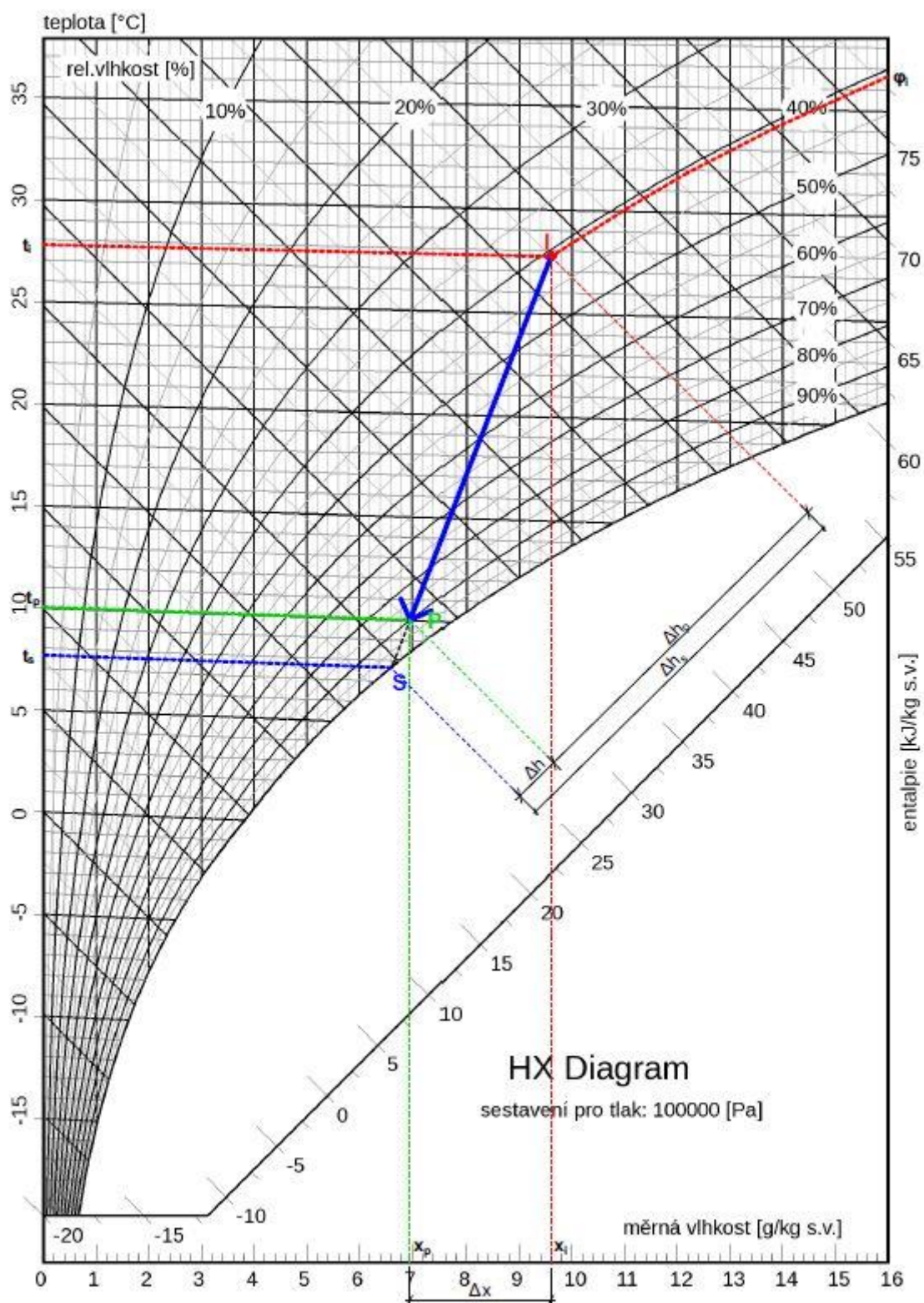


Graf 2: Teploty vzduchu



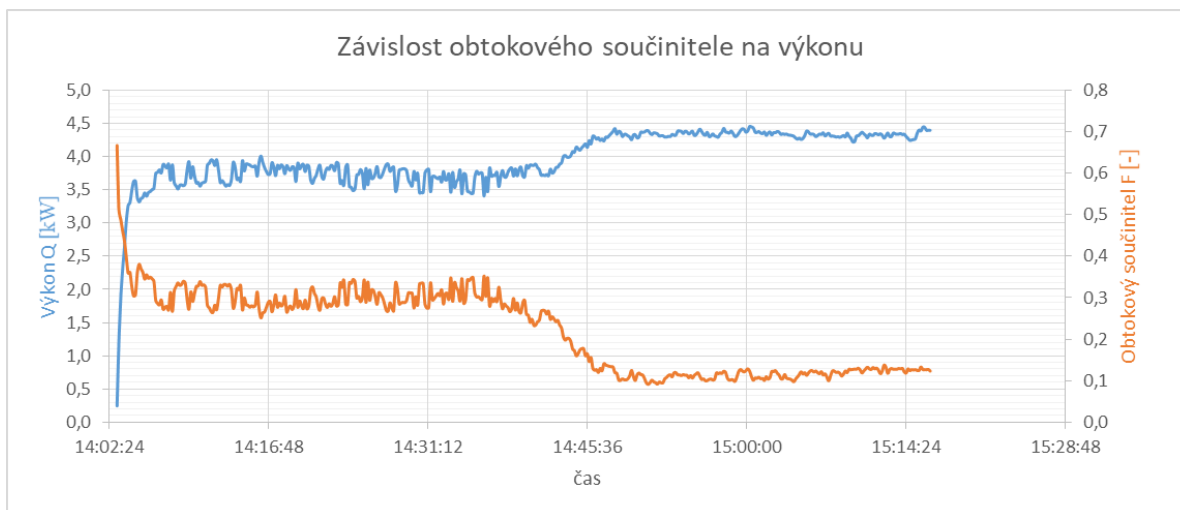
Graf 3: Povrchová teplota chladiče

Pro zpracování výsledků bylo vyloučeno čidlo ts1 kvůli špatně naměřeným hodnotám. K chybě pravděpodobně došlo z důvodu použití poškozeného čidla.



Obrázek 32: Hx diagram – mokré chlazení

Z hx diagramu jsou patrné malé hodnoty obtokového součinitele – způsobené mokřým chlazením, kdy výkon chladiče zvětšuje (hodnotu obtokového součinitele snižuje) teplo vázané, tedy teplo, které se uvolňuje kondenzací vodní páry.



Graf 4: Závislost obtokového součinitele na výkonu

Vyhodnocení:

V tomto měření je vidět, zejména z posledního grafu, že ke stabilizaci systému došlo za velmi krátkou dobu a hodnoty obtokového součinitele jsou po celou dobu měření malé ($F = 0,2 - 0,3$). Výkon VZT jednotky se pohybuje okolo 3,5 – 4,5 kW. Pokles teploty interiéru za dobu měření, tj. cca 1h 20min, byl o necelé 2°C.

Při ověření množství kondenzátu jsem zjistila rozdíl přibližně o 100g kondenzátu mezi zváženým množstvím a početně určeným. Chyba pravděpodobně vznikla z důvodu prohnutého potrubí kondenzátu, kde mohl být zbylý kondenzát z předchozích měření.

2.3.3 Ostatní měření

Při ostatních měření nedocházelo ke vzniku kondenzátu, jednalo se tedy o suché chlazení, kdy dochází pouze k předávání citelného tepla. Pro výpočty stačilo tedy určit hodnotu obtokového součinitele a výkonu pomocí jednotlivých teplot.

Postup zpracování suchých chlazení:

1. Stanovení obtokového součinitele

$$F = \frac{t_v - t_p}{t_i - t_p} \quad [-]$$

2. Výpočet výkonu VZT jednotky

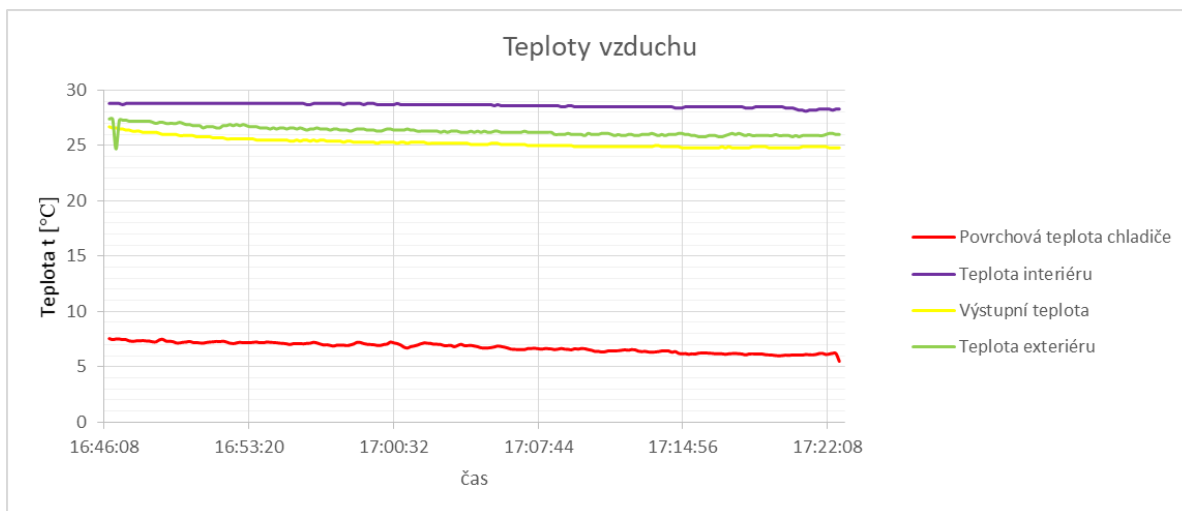
$$Q = V * \rho * c * (t_i - t_v) \quad [W]$$

MĚŘENÍ 1.9.2016

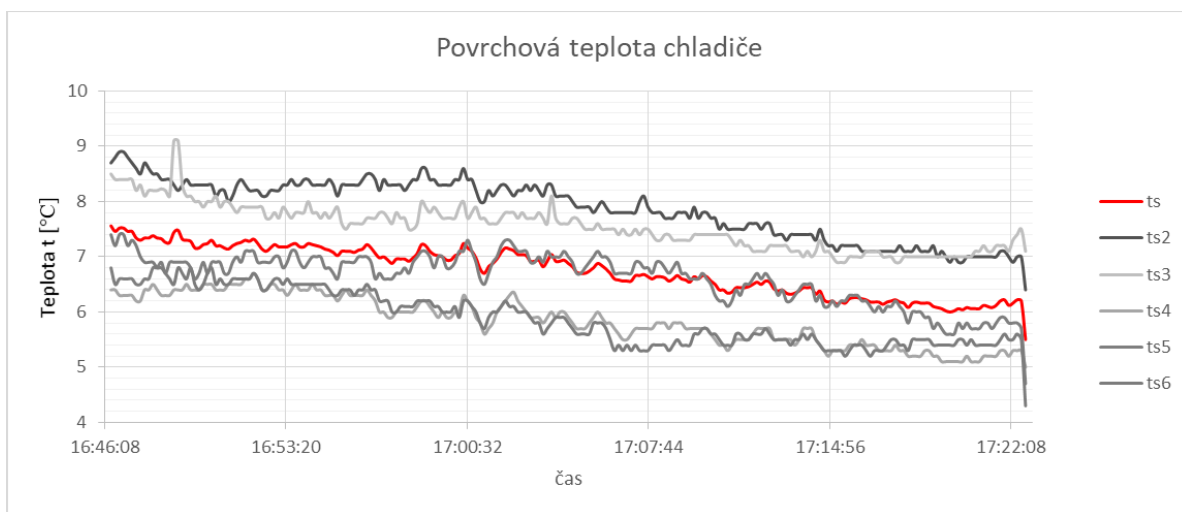
Zpracované výsledky:

- viz příloha – Tabulka č.3 – Měření 1.9.2016

Grafické zobrazení:

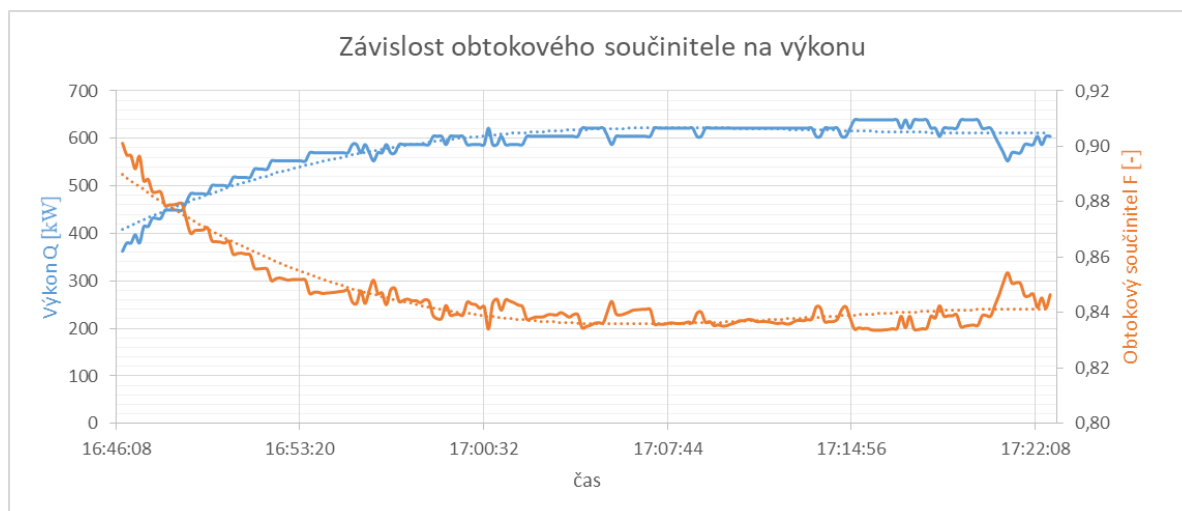


Graf 5: Teploty vzduchu



Graf 6: Povrchová teplota chladiče

Pro zpracování výsledků bylo vyloučeno čidlo ts1 kvůli špatně naměřeným hodnotám. K chybě pravděpodobně došlo z důvodu použití poškozeného čidla.



Graf 7: Závislost obtokového součinitele na výkonu

Vyhodnocení:

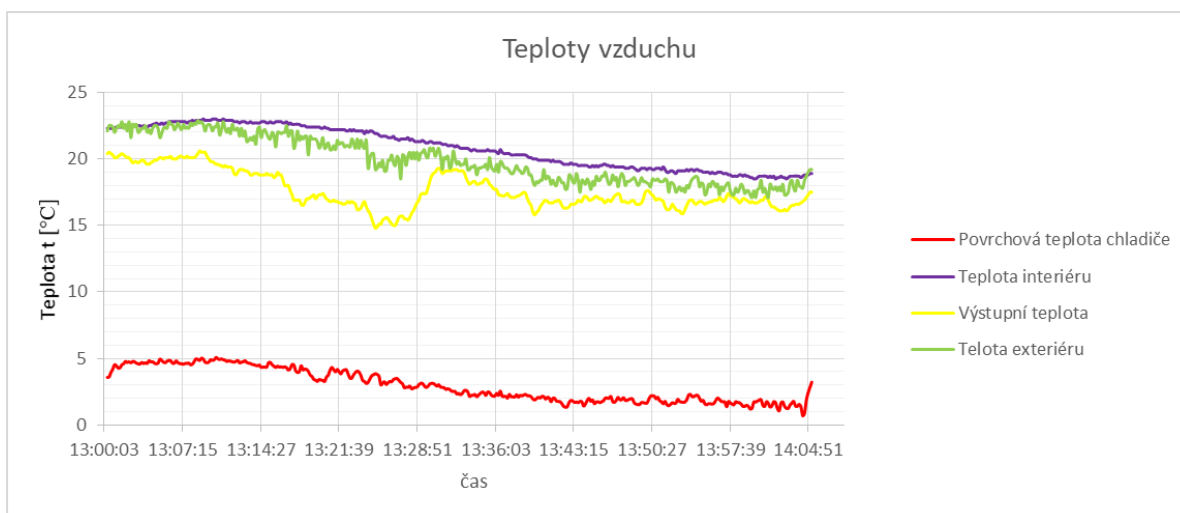
V grafu závislosti obtokového součinitele na výkonu je vidět, že ke stabilizaci chladicího okruhu došlo přibližně za 10 minut. Důvodem je náhrada chladiva R22 za chladivo R417A, které má jiné vlastnosti a chladicí systém se tedy nestabilizuje vždy tak rychle. Hodnoty obtokového součinitele se po stabilizaci pohybují okolo 0,8 a výkon chladiče okolo 600W.

MĚŘENÍ 20.4.2017

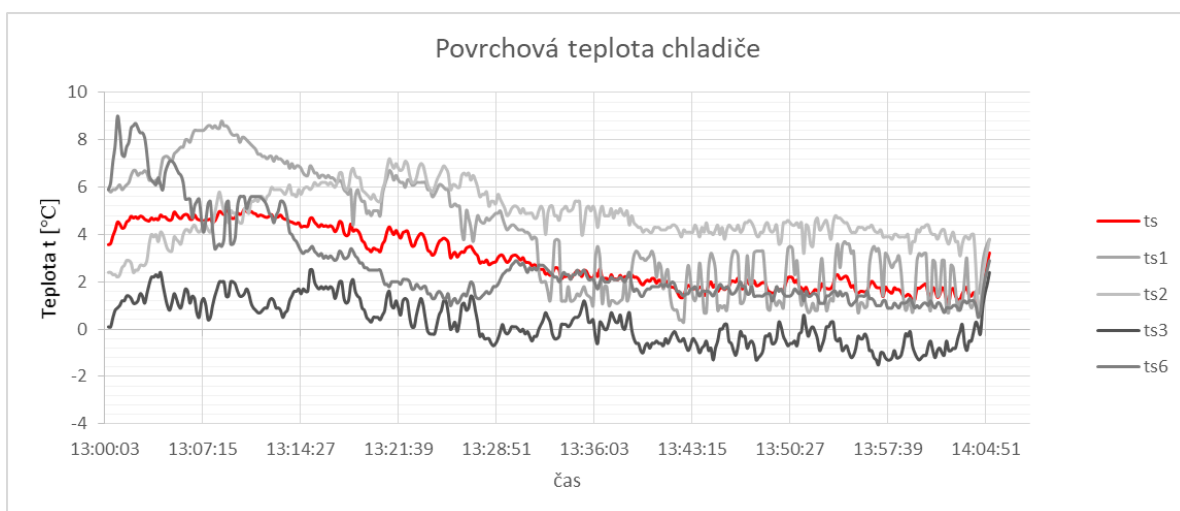
Zpracované výsledky:

- viz příloha – Tabulka č. 4 – Měření 20.4.2017

Grafické zobrazení:

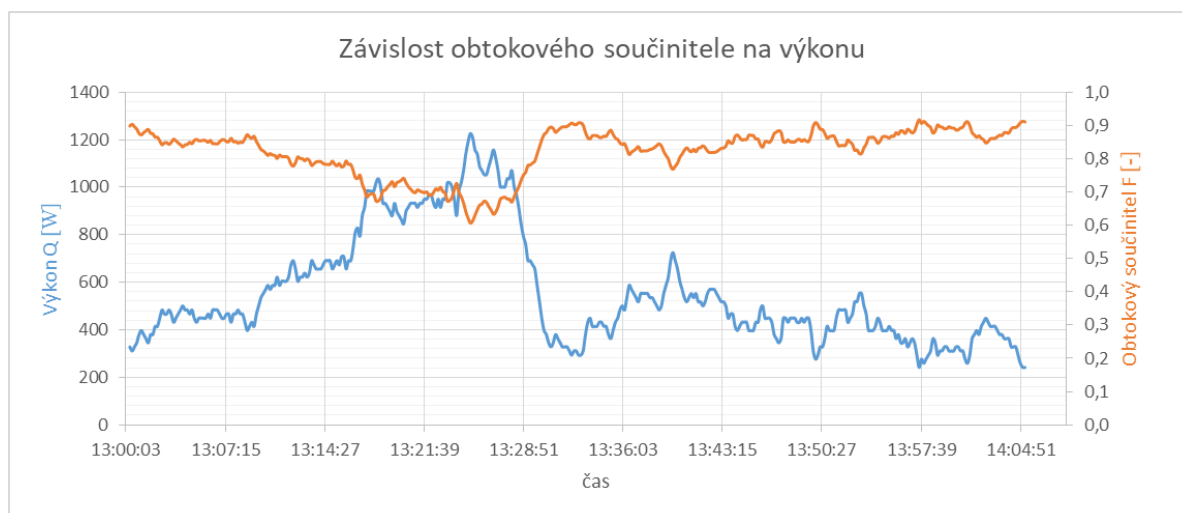


Graf 8: Teploty vzduchu



Graf 9: Povrchová teplota chladiče

Pro zpracování výsledků byla vyloučena čidla ts4 a ts5 kvůli špatně naměřeným hodnotám. K chybě pravděpodobně došlo z důvodu použití poškozených čidel.



Graf 10: Závislost obtokového součinitele na výkonu

Vyhodnocení:

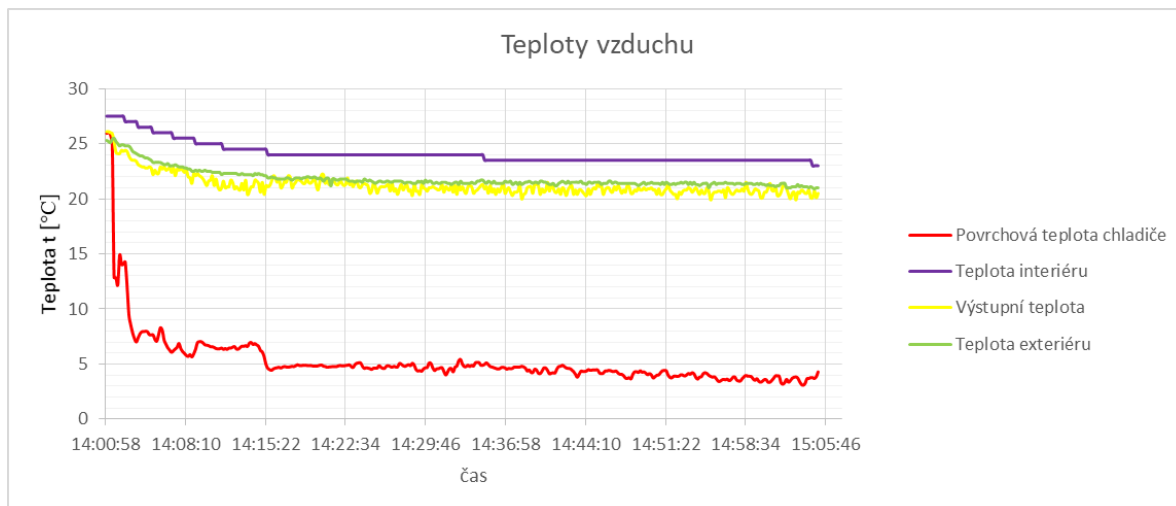
Ze zpracování tohoto jarního měření je vidět, že hodnoty obtokového součinitele a výkonu chladiče měly po celou dobu měření poměrně velké výkyvy. Důvodem mohly být rychle se měnící okrajové podmínky, jako třeba teplota exteriéru, ale také již zmiňovaná náhrada chladiva R22.

MĚŘENÍ 7.4.2017

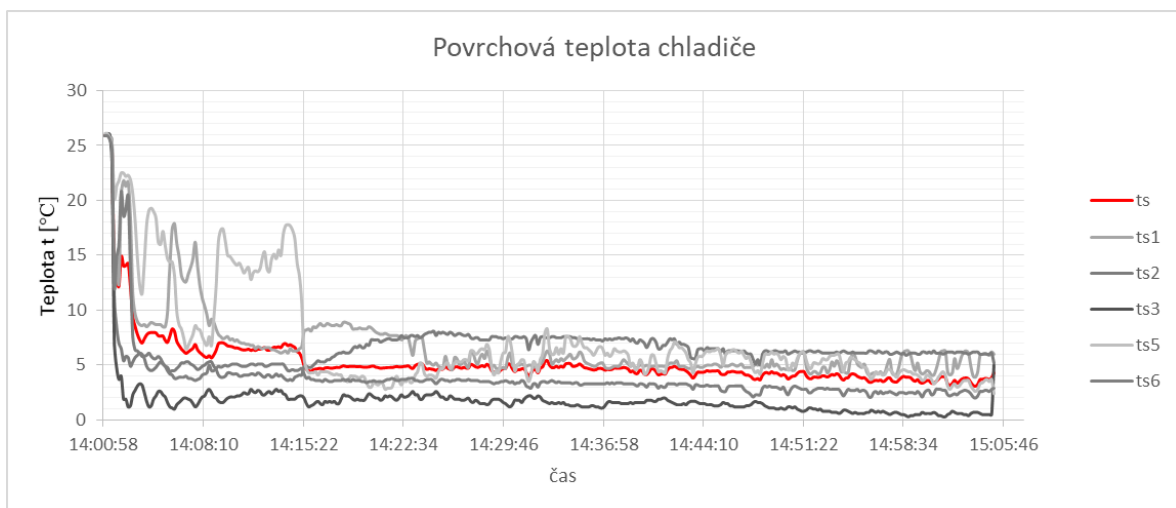
Zpracované výsledky:

- viz příloha – Tabulka č.5 – Měření 7.4.2017

Grafické zobrazení:

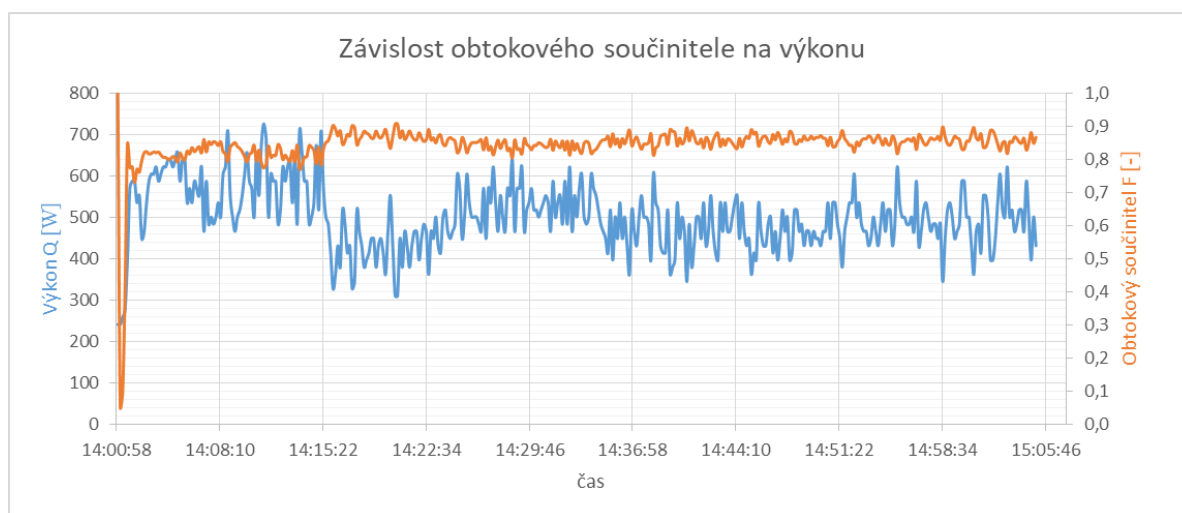


Graf 11: Teploty vzduchu



Graf 12: Povrchová teplota chladiče

Pro zpracování výsledků bylo vyloučeno čidlo ts4 kvůli špatně naměřeným hodnotám. K chybě pravděpodobně došlo z důvodu použití poškozeného čidla.



Graf 13: Závislost obtokového součinitele na výkonu

Vyhodnocení:

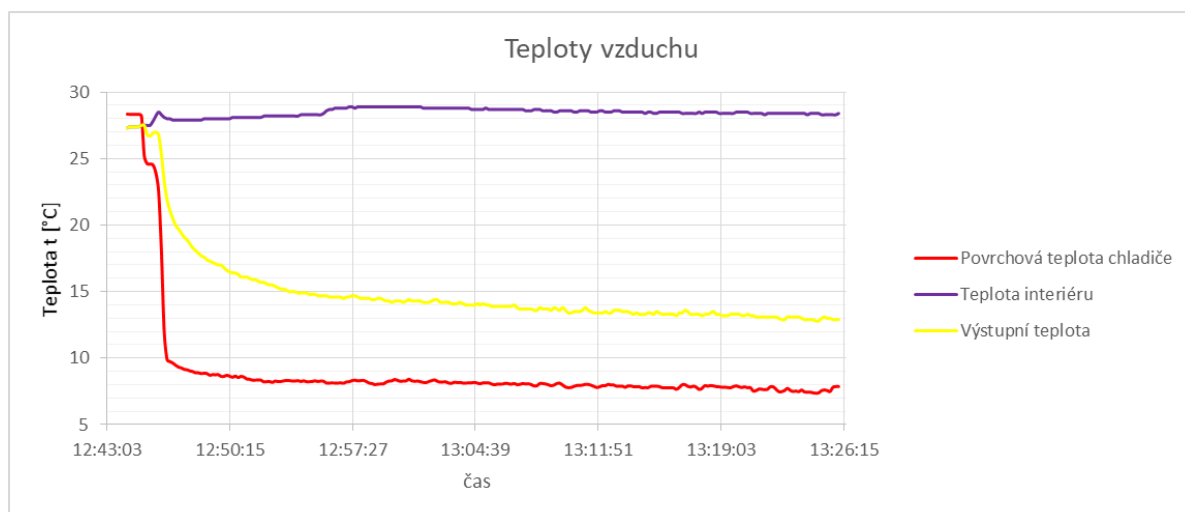
Při tomto měření nedošlo k podobnému průběhu hodnot obtokového součinitele ani výkonu, jak tomu bylo u předchozích měření. Z grafu je vidět, že v prvních 15 minutách se chladicí systém snaží o stabilizaci okruhu jako v předchozích případech, avšak na konci této části je zaznamenaný neočekávaný výkyv výkonu zařízení, který může být způsobený buď špatnou funkcí strojního vybavení – např. kompresoru, expanzního ventilu anebo rychlou teplotní změnou - kondenzační teplota, spuštěním ventilátoru změnou venkovní teploty,...). Od 27. minuty pak došlo ke stabilizaci systému.

MĚŘENÍ 20.7.2017

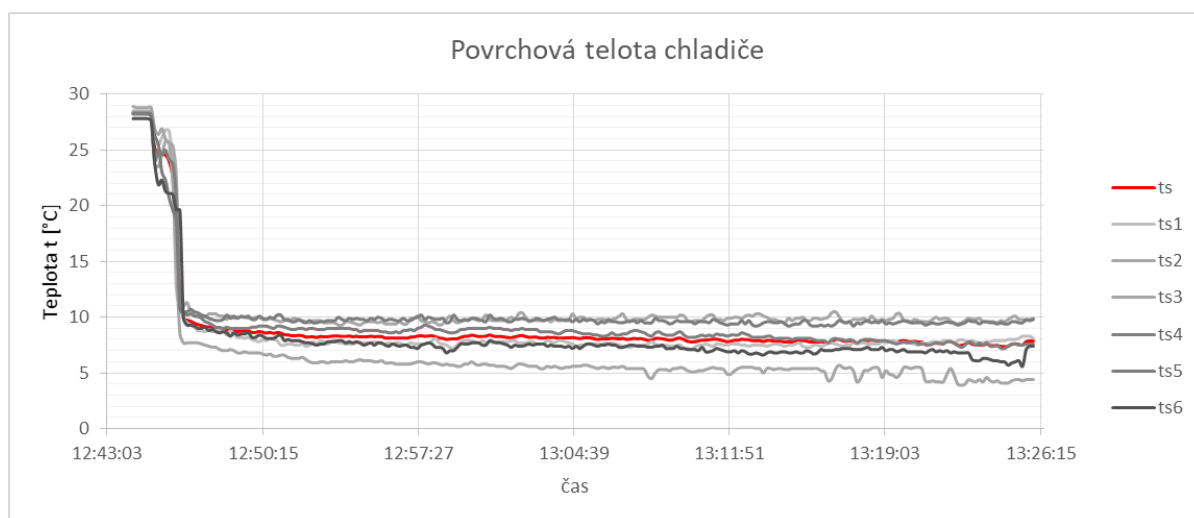
Zpracované výsledky:

- viz příloha – Tabulka č.6 – 20.7.2017

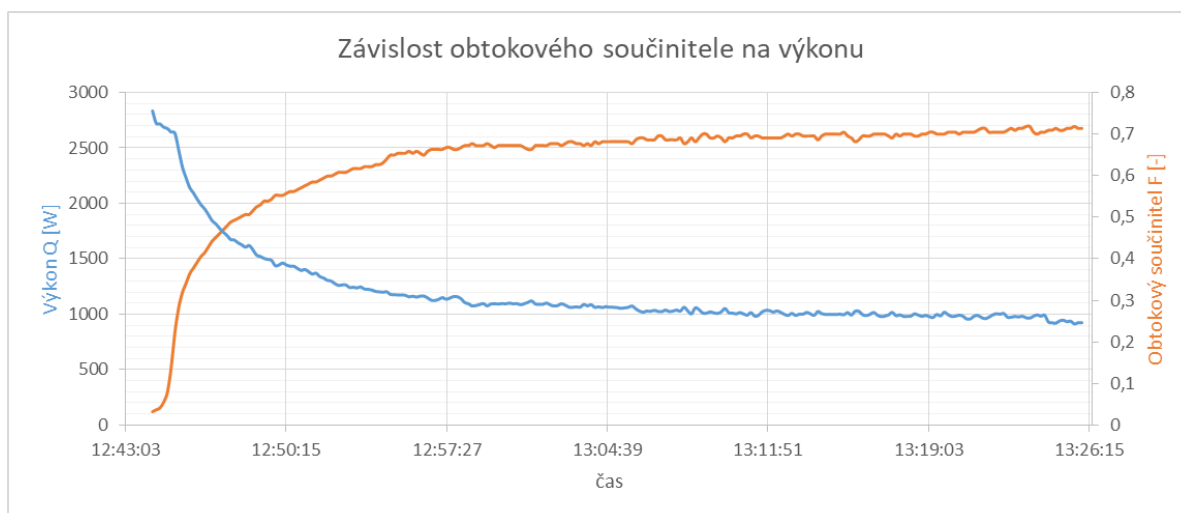
Grafické zobrazení:



Graf 14: Teploty vzduchu



Graf 15: Povrchová teplota chladiče



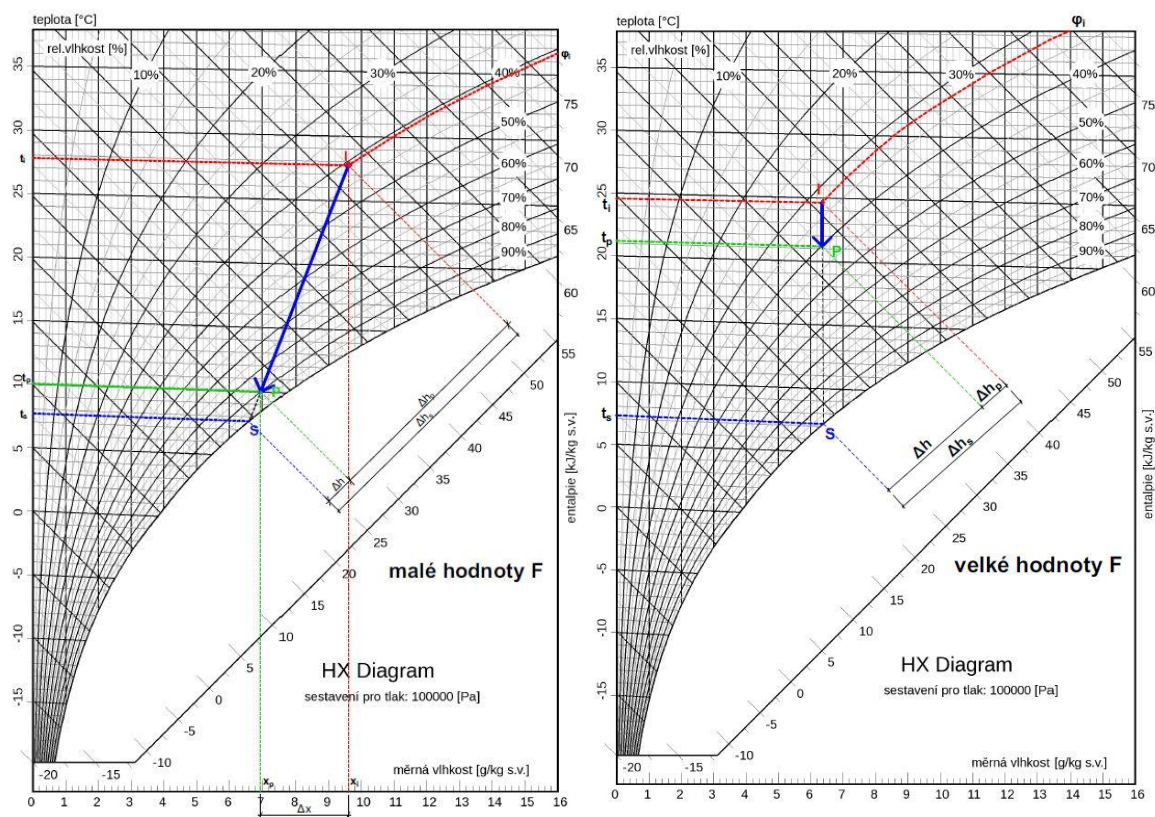
Graf 16: Závislost obtokového součinitele na výkonu

Vyhodnocení:

V tomto letním měření je opět vidět dlouhá doba, než došlo ke stabilizaci chladicího okruhu jako u měření z 1. 9. 2016. Ke stabilizaci chladicího okruhu došlo cca po 10 minutách a po té se hodnota obtokového součinitele pohybovala okolo 0,3, výkon okolo 2500W.

2.4 Vyhodnocení a posouzení výsledků

Téměř ve všech měření, především v letním období při vysokých teplotách, je vidět závislost výkonu na obtokovém součiniteli. Průběh obou křivek není hladký, což je způsobeno neustále se měnícími okrajovými podmínkami v čase a nemožnost chladicího systému na ně rychle reagovat. Nerovnoměrný průběh je také způsobený délkou rozvodů chladiva, protože chladivo není schopno si po celou dobu uchovat stejné vlastnosti. Obecně z grafů vyplývá, že hodnota obtokového součinitele je násobně vyšší v přechodném období na jaře, než v letním období, při vysokých teplotách. Z měření také vyplývá, že hodnotu obtokového součinitele ovlivňuje, zda při chlazení dochází ke kondenzaci vodní páry a tedy odvlhčení chlazeného vzduchu. V případě nízké hodnoty obtokového součinitele dochází ve VZT jednotce ke kondenzaci, kde dochází k přenosu nejen tepla citelného, ale i vázaného. Naopak při vysokých hodnotách vzduch nekondenzuje a dochází pouze k přenosu tepla citelného. To ovlivňuje velikost výkonu dané jednotky.



Obrázek 33: Hx diagramy

Z důvodu ekologické náhrady chladiva R22 chladivem R417a je doba stabilizace chladicího systému delší. Náhrada proběhla procedurou drop-in, při které nedochází k rekonstrukčním úpravám chladicího okruhu, ale pouze k záměně chladiva. Z důvodu rozdílných vlastností obou chladiv je tedy doba stabilizace chladicího systému delší než u původního chladiva R22.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo experimentálně zjistit závislost obtokového součinitele jednotky na jejím výkonu v systému přímého chlazení a následně aplikovat tento systém na zadaný prostor a porovnat ho s jiným systémem vzduchotechniky.

V praktické části této práce jsem navrhovala a porovnávala dvě varianty vzduchotechnických systémů squashových kurtů. Po porovnání navržených variant bych volila spíše variantu 1 - centrální systém vzduchotechniky s VZT jednotkou, která pokrývá veškeré tepelné zisky a ztráty. Množství vzduchu pro pokrytí tepelných zisků a ztrát není tak velké, takže i velikost VZT jednotky a rozměry potrubí jsou v daném prostoru přijatelné. Jedná se sice o centrální úpravu vzduchu, ale pro prostory squashových kurtů, které mají stejné požadavky na mikroklima vnitřního prostředí, je vyhovující.

V experimentální části je z grafů patrná závislost obtokového součinitele jednotky na jejím výkonu a je vidět závislost obou veličin na neustále se měnících okrajových podmínkách v čase. Hodnotu obtokové součinitele také ovlivňuje, zda v průběhu chlazení dochází ke kondenzaci vodní páry. Dalším poznatkem v této části bylo, že náhrada chladiva R22 chladivem R417a prodlužuje dobu stabilizace chladicího systému.

POUŽITÉ ZDROJE

Literatura

- [1] SZÉKYOVÁ, Marta, Karol FERSTL a Richard NOVÝ. *Větrání a klimatizace*. Bratislava: Jaga, 2006. ISBN 80-8076-037-3.
- [2] GEBAUER G.; RUBINOVÁ O.; HORKÁ H. *Vzduchotechnika* Brno: Vydavatelství Era, 2007.
- [3] RUBINA, Aleš. *Vzduchotechnika: Chlazení pro klimatizaci*. (přednáška) Vysoké učení technické: Fakulta stavební, 2013.
- [4] ŠIKULA, Ondřej. *Ochlazování budov: Základy termodynamiky pro chlazení*. (přednáška) Vysoké učení technické: Fakulta stavební, 2014.
- [5] ŠIKULA, Ondřej. *Ochlazování budov: Strojní systémy chlazení*. (přednáška) Vysoké učení technické: Fakulta stavební, 2014.

Elektronické zdroje

- [6] Co to je entropie? *TZB info* [online]. 2002 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/925-co-to-je-entropie>
- [7] Izotermický děj v ideálním plynu. *Projekty SIPVZ* [online]. 2006 [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://projektysipvz.gytool.cz/projektysipvz/Default.aspx?uid=755>
- [8] Manual de servicio. *Mitsubishi Electric* [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.mitsubishielectric-sat.es/download/Conductos/R22/Manual%20tecnico%20Mitsubishi%20Electric%20SEH-SUH-1.6-2-2.5VR.pdf>
- [9] *Ahlborn* [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <https://www.ahlborn.cz/>
- [10] *Comet* [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.cometsystem.cz/>

Zákony, vyhlášky, normy, směrnice

Vyhláška č. 6/2003 Sb., kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí pobytových místností některých staveb.

Nařízení vlády č. 272/2011Sb., změna NV č. 217/2016 Sb. O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

Vyhláška č. 499/2006 Sb. O dokumentaci staveb ve změně 63/2012 Sb.

ČSN EN 12831 – „Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu“

ČSN 730548 – „Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů“

ČSN 127010 – „Navrhování větracích a klimatizačních zařízení“

ČSN 730872 – „Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízení“

ČSN 730802 – „Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty“

ČSN 013454 – „Výkresy vzduchotechnických zařízení“

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratky

EER – chladicí faktor

F – obtokový součinitel chladiče

VZT – vzduchotechnika

Fyzikální veličiny

A – práce [J]

c – měrná tepelná kapacita [kJ/(kgK)]

h – měrná entalpie [kJ/kg]

m – hmotnostní průtok [kg/s]

p – tlak [Pa]

Q – teplo [J], výkon [W]

s – měrná entropie [J/(kgK)]

t – teplota [°C]

T – termodynamická teplota [K]

U – vnitřní energie [J]

V – průtok vzduchu [m³/h]

W – práce [J]

x – měrná vlhkost [kg/kg]

φ – relativní vlhkost [%]

η_r – efektivnost reálného cyklu [-]

ρ – hustota vzduchu [kg/m³]

SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Tabulka 1: Klimatické údaje objektu.....	33
Tabulka 2: Požadavky na vnitřní prostředí	33
Tabulka 3: Tepelné ztráty a tepelná zátěž	34
Tabulka 4: Tabulka místností	34
Tabulka 5: Tabulka výkonů	68
Tabulka 6: Technická specifikace – Varianta 1	69
Tabulka 7: Tabulka základních parametrů VZT jednotky	74
Tabulka 8: Vlastnosti chladiva R417a	75
Tabulka 9: Technické parametry vrtulkového anemometru	78
Tabulka 10: Technické parametry žárového anemometru	79
Tabulka 11: Technické parametry dataloggeru	79
Tabulka 12: Měření rychlosti vzduchu	80
Tabulka 13: Výpočet průtoku vzduchu	81
Obrázek 1: Izoterma	15
Obrázek 2: Izobara	16
Obrázek 3: Izochora	17
Obrázek 4: Chladicí okruh.....	19
Obrázek 5: Přímé chlazení	20
Obrázek 6: Nepřímé chlazení.....	20
Obrázek 7: Kompresorový okruh	22
Obrázek 8: P-h diagram [3]	22
Obrázek 9: Diagram T – s	26
Obrázek 10: Diagram p – h	27
Obrázek 11: Obráceny Carnotův cyklus ve dvoufázové látce.....	28
Obrázek 12: Diagram p - h	28
Obrázek 13: Clausisu – Rankinův cyklus	29
Obrázek 14: Diagram p - h	30
Obrázek 15: Skutečný parní kompresorový cyklus.....	31
Obrázek 16: P-h diagram R410a	55
Obrázek 17: MXZ-4E83VA.....	56
Obrázek 18: Vnitřní jednotka v laboratoři TZB	74
Obrázek 19: Vnitřní a venkovní jednotka	74
Obrázek 20: Rozmístění čidel pro měření povrchové teploty	76
Obrázek 21: Nástavec vyrobený pro zmenšení výstupní plochy	76
Obrázek 22: Vnitřní jednotka s nástavcem v laboratoři TZB	76
Obrázek 23: Ústředna ALMEMO 3290-8	77
Obrázek 24: Převod naměřených dat do PC.....	77

Obrázek 25: Termočláňkové dráty.....	77
Obrázek 26: Měření rychlosti vzduchu pomocí vrtulkového anemometru.....	78
Obrázek 27: Temoanemometrické čidlo.....	79
Obrázek 28: Datalogger COMET S3120	80
Obrázek 30: Měření velikosti výstupní plochy.....	81
Obrázek 29: Rozdělení průřezu pro měření rychlosti vzduchu.....	81
Obrázek 31: Hx diagram.....	85
Obrázek 32: Hx diagram – mokré chlazení	88
Obrázek 33: Hx diagramy.....	98

Graf 1: Porovnání měrných vlhkostí vzduchu	86
Graf 2: Teploty vzduchu	87
Graf 3: Povrchová teplota chladiče.....	87
Graf 4: Závislost obtokového součinitele na výkonu	89
Graf 5: Teploty vzduchu	90
Graf 6: Povrchová teplota chladiče.....	90
Graf 7: Závislost obtokového součinitele na výkonu	91
Graf 8: Teploty vzduchu	92
Graf 9: Povrchová teplota chladiče.....	92
Graf 10: Závislost obtokového součinitele na výkonu	93
Graf 11: Teploty vzduchu	94
Graf 12: Povrchová teplota chladiče.....	94
Graf 13: Závislost obtokového součinitele na výkonu	95
Graf 14: Teploty vzduchu	96
Graf 15: Povrchová teplota chladiče.....	96
Graf 16: Závislost obtokového součinitele na výkonu	97

SEZNAM PŘÍLOH

Výkres č. 1	Varianta 1 – půdorys 2.NP
Výkres č. 2	Varianta 1 – půdorys strojovny a řez
Výkres č. 3	Varianta 2 – půdorys 2.NP
Výkres č. 4	Varianta 2 – půdorys strojovny a řez
Tabulka č. 1	Měření 21.7.2016
Tabulka č. 2	Ověření množství kondenzátu
Tabulka č. 3	Měření 1.9.2016
Tabulka č. 4	Měření 20.4.2017
Tabulka č. 5	Měření 7.4.2017
Tabulka č. 6	Měření 20.7.2017